

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**“REDUCCIÓN DE MERMAS MEJORANDO EL DESEMPEÑO DEL
ADHESIVO UTILIZADO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN
DEL CARTÓN CORRUGADO”**

INFORME DESCRIPTIVO

**PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL**

PRESENTADO POR:

BACH. DANIEL ZAPATA ATARAMA

ASESOR:

MSc. CARMEN ZULEMA QUITO RODRÍGUEZ

**PIURA – PERÚ
2018**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**“REDUCCIÓN DE MERMAS MEJORANDO EL DESEMPEÑO DEL
ADHESIVO UTILIZADO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN
DEL CARTÓN CORRUGADO”**

INFORME DESCRIPTIVO

**PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Daniel Zapata Atarama", is written over a horizontal line.

BACH. DANIEL ZAPATA ATARAMA

TESISTA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Carmen Zulema Quito Rodríguez", is written over a horizontal line.

MSc. CARMEN ZULEMA QUITO RODRÍGUEZ

ASESOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**“REDUCCIÓN DE MERMAS MEJORANDO EL DESEMPEÑO DEL
ADHESIVO UTILIZADO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN
DEL CARTÓN CORRUGADO”**


LINEA DE INVESTIGACIÓN: PRODUCCIÓN INDUSTRIAL



**MSc. RICARDO GERÓNIMO SEMINARIO
VASQUEZ**
PRESIDENTE



**MSc. CARLOS ENRIQUE MARIANO
COELLO OBALLE**
SECRETARIO



Ing. NÉSTOR MANUEL CASTILLO BURGOS
VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME POR
PRESTACIÓN DE SERVICIOS EN LA ESPECIALIDAD

Los Miembros del Jurado Calificador Ad-Hoc, nombrado mediante Resolución N°744-D.FII-UNP-18 de fecha 28 de Agosto del 2018, del Informe por Prestación de Servicios en la Especialidad, denominado «**REDUCCIÓN DE MERMAS APLICANDO TÉCNICAS ESTADÍSTICAS EN LA FABRICACIÓN DEL ADHESIVO EN LA EMPRESA TRUPAL S.A.**», presentado por **DANIEL ZAPATA ATARAMA** Bachiller en **INGENIERÍA INDUSTRIAL** asesorado por la **MSc. CARMEN ZULEMA QUITO RODRÍGUEZ**, reunidos para la sustentación de ésta y luego de escuchar su exposición y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran:



Con el Calificativo:


APROBADO

MUY BUENO

En consecuencia el sustentante se encuentra **apto** para recibir el título profesional de **INGENIERO INDUSTRIAL** conforme a Ley.

PIURA, 05 de Octubre del 2018


MSc. RICARDO GERÓNIMO SEMINARIO
VÁSQUEZ
PRESIDENTE - JURADO CALIFICADOR


MSc. CARLOS ENRIQUE MARIANO COELLO
OBALLE
SECRETARIO - JURADO CALIFICADOR


Ing. NÉSTOR MANUEL CASTILLO BURGOS
VOCAL - JURADO CALIFICADOR

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo, Daniel Zapata Atarama identificado con DNI N° 72880421, Bachiller de Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería Industrial y domiciliado en Jr Arequipa 1343 del Distrito de Piura, Provincia de Piura, Departamento de Piura , con Celular: 968973163 y Email: danielzapata1692@gmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujetos a los alcances de los establecido en el Art. N°411, del código Penal concordante con el Art. N°32 de la Ley N°27444 y la Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, 19 de octubre de 2018



DNI N° 72880421

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art 4. Inciso 4.12 del Reglamento Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales- RENATI Resolución de Consejo Directivo N°033-2016-SUNEDU/CD

RESUMEN

El presente informe por experiencia profesional describe un proyecto de reducción de mermas aplicando técnicas estadísticas en la fabricación del adhesivo en la empresa Trupal S.A.

El problema que se identificó en Trupal S.A. durante el 2014 fue que el porcentaje de desperdicio proveniente del área de corrugadora era de 3.24% sobre el consumo total de bobinas de papel del mes. El porcentaje límite designado por la empresa para la generación de mermas de corrugadora es de 2%, por lo cual se diseñaron estrategias para darle seguimiento a las principales causas generadoras de mermas en la planta.

En primer lugar, se dividió en defectos y problemas de máquina u operativos las causas que generaban desperdicio y el peso en kg que representaba dentro del total de merma de planta. Una vez localizado el origen de la merma (11 causas en total) se aplicó el diagrama de Pareto con el fin de encontrar la causa más representativa y que además se pueda solucionar desde el área de operaciones. Se evaluó el mes de Enero y se detectó que las planchas despegadas, con un peso de 8,6 TM, representaban el 19,96% sobre el total de merma generada. La variable elegida y la más significativa fue la viscosidad del adhesivo, debido a que tiene injerencia directa sobre el buen pegado entre los papeles que forman el cartón.

Posteriormente se evaluó la repetibilidad (variación del dispositivo de medición por un operador en una muestra) y reproducibilidad (la variación en promedio de las mediciones de cada operador) de la copa Stein Hall, instrumento utilizado para la medición de la viscosidad para constatar la veracidad de los resultados obtenidos, llegando a la conclusión que el instrumento era confiable.

A partir de allí, se midieron los valores de la viscosidad del adhesivo cada 02 horas durante 15 días. El tamaño de la muestra fue variable y moderadamente grande (8 en promedio por día) por lo que la gráfica de control seleccionada fue X-S de medias y desviaciones estándar, una vez construida las gráficas de medias y desviaciones estándar se observó que el proceso se encontraba fuera de control por lo que en conjunto con el equipo de operaciones se realizó un diagrama de Ishikawa para detectar los problemas que generaban el aumento o disminución de la viscosidad.

Se seleccionaron las 4 principales causas y se presentaron las propuestas de mejora e implementación. Una vez implementadas las acciones se procedió nuevamente a recopilar los datos de viscosidad en el mes de abril con la misma frecuencia de 02 horas durante 15 días y los resultados obtenidos fueron exitosos demostrando que el proceso después de las mejoras implementadas se encontraba bajo control.

Una vez controlado el proceso hallamos la capacidad potencial del mismo para saber si el proceso de fabricación de adhesivo era capaz de satisfacer los requerimientos y especificaciones del producto comparando la variación natural del mismo. El resultado fue de 1.203, lo que indicaba que ya se trataba de un proceso adecuado para el trabajo, pero requería de un control estricto conforme el valor se acercaba a 1.

Finalmente se midió el impacto de este nuevo proceso controlado estadísticamente sobre el desperdicio generado tanto en enero como abril. En enero representaba un 3.24 % y en abril un 2.2%, generando la disminución de un 1.04% del total de desperdicio sobre el total de consumo de papel.

La reducción de 1% del total de merma de la sede Sullana de Trupal S.A aplicando las herramientas estadísticas permitió generar un ahorro de S/.47 355 soles para la empresa.

Palabras claves: Control estadístico de proceso, cartón corrugado, adhesivo

ABSTRACT

This report by professional experience describes a waste reduction project applying statistical techniques in the manufacture of the adhesive in the company Trupal S.A. The problem that was identified in Trupal S.A. during 2014, the percentage of waste coming from the corrugator area was 3.24% of the total consumption of paper rolls of the month. The percentage limit designated by the company for the generation of corrugator waste is 2%, for which strategies were designed to track the main causes of waste in the plant. In the first place, the causes that generated waste and the weight in kg that represented within the total of plant waste were divided into defects and machine or operational problems. Once the origin of the shrinkage was located (11 causes in total), the Pareto diagram was applied in order to find the most representative cause and that could also be solved from the area of operations. The month of January was evaluated and it was detected that the detached plates, weighing 8.6 MT, represented 19.96% of the total waste generated. The variable chosen and the most significant was the viscosity of the adhesive, because it has a direct influence on the good bond between the papers that make up the cardboard.

Subsequently, the repeatability (variation of the measuring device by an operator in a sample) and reproducibility (the average variation of the measurements of each operator) of the Stein Hall cup, an instrument used to measure the viscosity to verify the veracity, was evaluated of the results obtained, reaching the conclusion that the instrument was reliable.

From there, the viscosity values of the adhesive were measured every 02 hours for 15 days. The size of the sample was variable and moderately large (8 on average per day), so the selected control chart was \bar{X} S of means and standard deviations. Once the mean and standard deviation graphs were constructed, it was observed that the process was out of control, so, together with the operations team, an Ishikawa diagram was made to detect the problems that caused the increase or decrease in viscosity.

The 4 main causes were selected and proposals for improvement and implementation were presented. Once the actions were implemented, the viscosity data were collected again in the month of April with the same frequency of 02 hours during 15 days and the results obtained were successful demonstrating that the process after the implemented improvements was under control.

Once controlled the process we found the potential capacity of the same to know if the adhesive manufacturing process was able to satisfy the requirements and specifications of the product comparing the natural variation of the same. The result was 1,203, which indicated that it was already a suitable process for the job, but required strict control as the value approaches 1.

Finally, the impact of this new statistically controlled process on the waste generated in January and April was measured. In January it represented 3.24% and in April 2.2%, generating a decrease of 1.04% of the total waste over the total consumption of paper.

The reduction of 1% of the total waste of the Sullana de Trupal S.A headquarters by applying the statistical tools allowed to generate a saving of S / .47 355 soles for the company.

Key words: Statistical process control, corrugated cardboard, adhesive

Índice

INTRODUCCIÓN	12
CONCLUSIONES	14
RECOMENDACIONES	14
CAPÍTULO I.....	15
CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLÓ LA EXPERIENCIA.....	15
1.1 Situación de la empresa – actividad realizada	15
Datos de la empresa	15
Principales clientes.....	16
Principales proveedores	17
1.2 Mercado	18
1.3 Visión	18
1.4 Misión.....	18
1.5 Organización de la empresa.....	18
1.6 Área, cargos y funciones.....	19
1.7 Experiencia profesional realizada en la organización	19
CAPÍTULO II.....	20
ACTIVIDADES DESARROLLADAS.....	20
2.1 Situación Problemática	20
2.1.1 Definición del problema	20
2.2 Alternativa de solución a implementar.....	21
2.3 Objetivos	21
2.3.1 General	21
2.3.2 Específicos.....	21
2.4 Alcance	22
2.4.1 Alcance funcional	22
2.4.2 Alcance organizacional	22
2.4.3 Alcance geográfico.....	23
2.5 Etapas y metodología	25
2.6 Fundamentos teóricos	26
2.6.1 Distribución normal	27
2.6.2 Teorema del límite central	28
2.6.3 Control Estadístico del Proceso (CEP)	29
A. Histograma.....	30

B. Gráfica de Pareto	32
C. Diagrama de Causa – Efecto	33
D. Cartas de Control	35
2.6.4 Gráficas de control de media y rango ($\bar{X} - R$)	38
2.6.4.1 Gráfica R	38
2.6.4.2 Gráfica \bar{X}	39
2.6.4.3 Gráfica de medias y desviación estándar ($\bar{x} - s$).....	40
2.6.5 Análisis de la capacidad del proceso	41
2.6.6 Índice de capacidad de proceso	42
2.6.7 Cartón corrugado: Definición y características.....	46
2.6.7.1 Función del cartón corrugado	48
2.6.7.2 Fabricación del cartón corrugado	48
2.6.8 Adhesivo.....	59
2.6.8.1 Pruebas de Calidad del Adhesivo.....	62
1. Viscosidad.....	62
2. PAT (Pin adhesión Test)	63
CAPÍTULO III.....	66
3.1 Introducción	66
3.2 Aplicación	67
3.3 Medición de resultados después de implementación de resultados	80
3.3.1 Capacidad potencial del proceso	85
3.3.2 Análisis de los factores que afectan el proceso.....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	94

INTRODUCCIÓN

El control estadístico de los procesos es una actividad de vital importancia para cualquier organización, ya que le permite visualizar su posición respecto a la planificación inicial de sus actividades y en función de esta, tomar las decisiones pertinentes a cada caso.

Para Trupal S.A empresa dedicada a la fabricación de cajas de cartón corrugado, siempre ha surgido la necesidad de saber cómo utilizar y entender las técnicas estadísticas dirigidas a la mejora de los procesos y los beneficios que conllevan. Estas técnicas permiten observar la variabilidad de los procesos para controlarlos y verificarlos a través de decisiones bien definidas, así como determinar la capacidad de los procesos y verificar las características del producto.

La fabricación de cajas de cartón está constituida por dos procesos: el primer proceso de corrugado mediante el cual se fabrica el cartón, estructura ligera, pero de alta resistencia obtenida de la unión de varias hojas mediante un adhesivo de almidón, y el segundo el proceso de conversión donde la plancha de cartón se troquea e imprime transformándola finalmente en una caja.

Es de conocimiento en la industria cartonera que el adhesivo se convierte en el “corazón del cartón”, al ser un elemento fundamental y necesario para la constitución y la estructura misma del cartón corrugado, asegurando su estabilidad y arquitectura. El control del adhesivo es importante dado que muchas de las fallas encontradas en el cartón corrugado se deben a problemas relacionados con este, ya sea por su viscosidad, temperatura o su punto gel.

La planta de Trupal S.A. ubicada en Sullana inició operaciones en el mes de septiembre de 2014. Los primeros meses de proceso fueron un periodo de prueba y error, donde casi la totalidad de personal no tenía más de 3 meses de experiencia en este tipo de trabajo.

El principal indicador para este rubro es el porcentaje de desperdicio, por lo que se diseñó una gráfica para realizar el seguimiento a las principales causas generadoras de mermas. Esta gráfica mostró que una de las principales causas de la elevada merma en la planta eran los problemas en el área de corrugado, principalmente a defectos derivados del nulo control de las variables principales del adhesivo.

Una vez localizado el problema de mayor prioridad, nos enfocamos en generar la solución. En este caso, los defectos en las planchas de cartón era consecuencia de la

falta de control en el proceso de fabricación del adhesivo, dado que en esta área el trabajo se desarrollaba empíricamente y con lo poco que habían aprendido las personas que en ese momento operaban en el área, por lo cual se propuso la implementación de un control estadístico de proceso para controlar la viscosidad del adhesivo, variable principal en el proceso de corrugado.

A lo largo de este informe se describe la implementación del control estadístico, definiendo si el proceso se encontraba estable y si no era el caso se identificaban las principales causas de la inestabilidad, su corrección y posterior implementación de mejoras, todo esto haciendo uso de las principales herramientas estadísticas como los histogramas, gráficas de control, diagrama de causa- efecto y cartas de control.

Lo que se buscaba finalmente con esta implementación de control estadístico era disminuir el porcentaje de mermas generadas por este defecto de producción, debido a que para la compañía disminuir 1 TM de desperdicio equivale a 3500 soles de ahorro.

CONCLUSIONES

Con la aplicación del control estadístico del proceso, aseguramos una reducción de aquella variabilidad existente en el proceso y se logró observar el comportamiento de la variable. En este caso, se logró reducir el desperdicio generado por la variabilidad existente en la viscosidad del adhesivo en 1.04%.

Si en la planta de Trupal Sullana se asume con suficiente compromiso la implementación y desarrollo del control estadístico de procesos en otras variables críticas, podrá identificar aquellas irregularidades que generen que el producto tenga una tendencia a estar fuera de especificación.

Al analizar la capacidad de proceso se identificó que el proceso de fabricación de adhesivo era hábil para cumplir con las especificaciones establecidas para lograr un producto de calidad además se pudo validar y verificar la aceptabilidad de los dispositivos de medición, a fin de asegurar la confianza en los datos recopilados.

Este proyecto facilita el desarrollo y aplicación de técnicas estadísticas, mediante una propuesta, que consiste en una serie de pasos lógicos para aplicar aquellas herramientas estadísticas como son: la recopilación de datos, validación del equipo de medición, utilización de las cartas de control, diagrama causa efecto y análisis de la capacidad del proceso.

RECOMENDACIONES

La empresa Trupal S.A. debería implementar el Control Estadístico de Procesos y procurar que represente una cultura de trabajo no solo en el proceso de corrugado sino también en otros procesos de la planta, por ejemplo en variables como PH y viscosidad de las tintas, punto gel de adhesivo, temperatura del adhesivo, entre otros, esto permitirá tener la capacidad de identificar aquellas irregularidades que no permitan que los resultados estén dentro de los límites de especificación, estarán preparados para cumplir con los requisitos especificados por el cliente o clientes, se validarán los instrumentos de medición asegurando la veracidad de los datos recabados, dando todo esto como resultado la mejora del proceso en cuanto a su eficacia y hasta lograr finalmente la eficiencia.

CAPÍTULO I

CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLÓ LA EXPERIENCIA

1.1 Situación de la empresa – actividad realizada

TRUPAL es la empresa líder en el Perú en la fabricación de soluciones de empaque (cajas de cartón corrugado en presentación flexográfica, offset y digital, así como empaques flexibles).

Forman, juntamente con Tableros Peruanos y Flexicruz, la Unidad de Negocios de Empaques del Grupo Gloria, conglomerado empresarial que cuenta con operaciones en más de 7 países de la Región, y se desarrolla en diversos sectores: alimentos, cemento, empaques, agroindustria, etc.

El lugar donde se desarrolló este proyecto fue en la planta de fabricación de cajas de cartón corrugado dirigidas para el sector agroexportador y la industria en general, ubicada en el departamento de Piura.

Datos de la empresa

Razón social: Trupal S.A

RUC: 20418453177

Domicilio legal: Av. Evitamiento 3636, El Agustino, Lima, Perú.

Teléfono: (01) 3852043 - (01) 3852048

Principales clientes



Figura 1. Principales clientes de Trupal S.A

Elaboración Propia

Principales proveedores



Figura 2. Principales proveedores Trupal S.A

Elaboración Propia

1.2 Mercado

La planta de Trupal S.A. ubicada en Sullana tiene como principal misión abastecer al mercado agroexportador de la región Norte, desde Ancash hasta Tumbes, abarcando productos como uva, banano, mango, palta, limón.

Actualmente la empresa cuenta con una participación del 70% en el mercado agrícola. Con respecto a sus clientes, Trupal S.A. atiende a las principales empresas agroexportadoras como El pedregal, Sociedad Agrícola Rapel, ECOSAC Agrícola, Camposol S.A., Sunshine Export, Dominus S.A.C., Agrícola Cerro Prieto S.A Tal S.A, etc.

1.3 Visión

La visión de Trupal S.A es que en el 2021 tener una utilidad de 200 millones de soles.

1.4 Misión

Brindar un servicio extraordinario e innovador a nuestros clientes.

1.5 Organización de la empresa

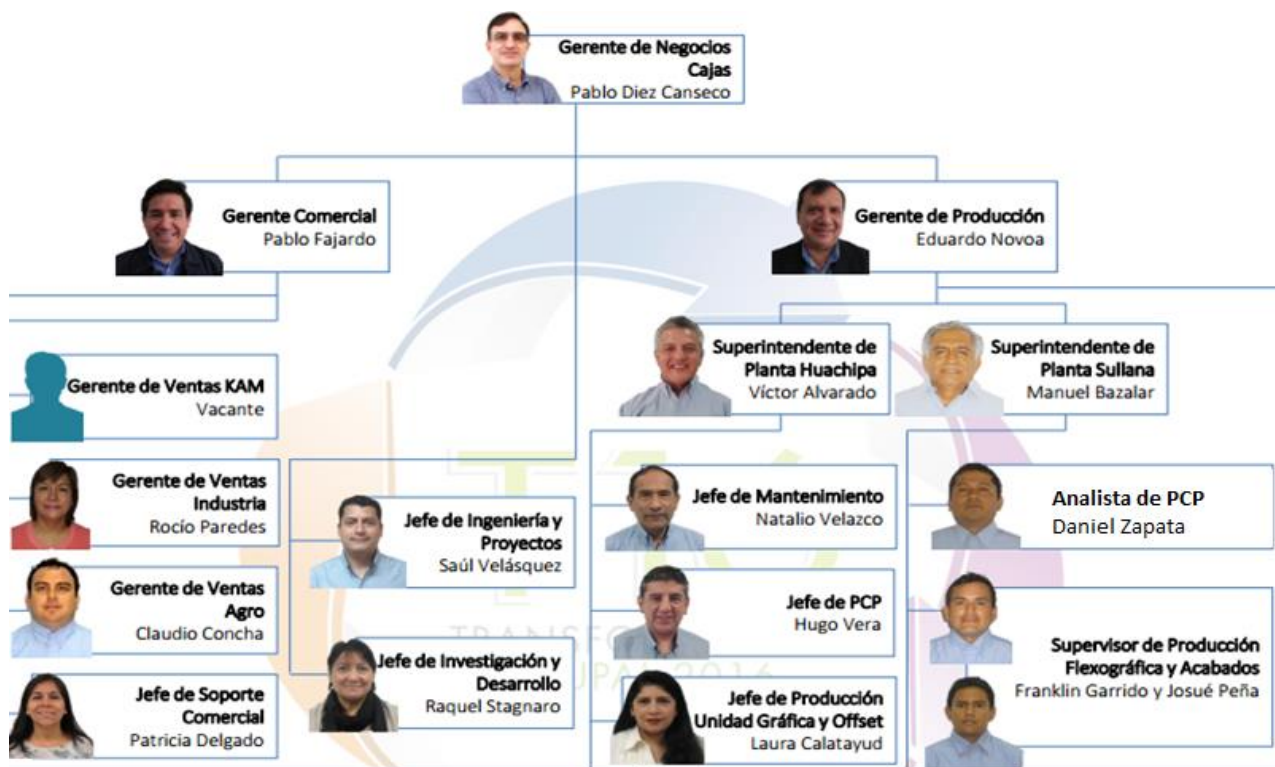


Figura 3. Estructura organizacional de Trupal S.A

Elaboración Propia

1.6 Área, cargos y funciones

El autor de este informe de experiencia profesional se desempeñó como practicante profesional de producción, posteriormente como coordinador de producción y actualmente desempeña el cargo de Analista de planificación y control de la producción (PCP). Constituyendo actualmente las bases del área de PCP, indicadores de producción, análisis de capacidad de procesos.

1.7 Experiencia profesional realizada en la organización

A continuación, se muestran las funciones realizadas dentro de la organización.

- Estar al tanto de la variedad de productos generados por las diferentes órdenes de producción de los clientes.
- Proponer a su jefe el presupuesto de cada orden de producción y ruta de producción, incluyendo los momentos de secuencia.
- Alimentar el plan de compras con los requerimientos resultantes de sus acciones de planificación.
- Proponer acciones factibles para atender y solucionar eventos inesperados con algún pedido.
- Recibir y registrar los documentos, por parte de los maquinistas y con el visto bueno de los supervisores.
- Elaborar el borrador del reporte semanal y/o mensual del balance de producción señalando los argumentos de los hallazgos que sustenten los aciertos y desaciertos de dicho periodo.
- Preparar los reportes semanales de los análisis y cálculos de costos, horas/máquina, papel consumido, planchas consumidas, etc., y presentarlos a su jefe.
- Planificar los tiempos de entrada, procesamiento y salida en la línea de producción, asegurando la atención a las diferentes órdenes de producción.
- Cumplir y desarrollar las iniciativas y estrategias internas de mejoramiento continuo, tales como Six Sigma, “5S”, y otras que sean establecidos por la Gerencia de Negocios como prácticas necesarias de implementar.
- Administrar y cautelar toda aquella información relacionada a indicadores, objetivos, problemas, accidentes, incidentes, etc., que surjan en el seno de los procesos operacionales y productivos de la planta, y darle adecuado curso de acuerdo con las políticas, normas y códigos vigentes de la empresa.

CAPÍTULO II

ACTIVIDADES DESARROLLADAS

2.1 Situación Problemática

2.1.1 Definición del problema

El inicio de operaciones en la planta de cajas de Trupal S.A Sede Sullana se llevó a cabo en el mes de septiembre del 2014. Dada la inexperiencia del personal que en ese momento trabajaba allí surgieron muchos problemas, entre ellos y el de mayor impacto para la organización fue el excesivo desperdicio generado por diversas razones como cartón con baja adhesión, cartón con curvatura fuera de especificación, problemas de impresión, troquelado deficiente y muchos otros que afectaron el periodo de inicio de operaciones.

La primera medida tomada por el área de producción de la planta fue la de generar gráficos para evaluar los principales problemas. Al analizar mediante una gráfica de Pareto cuáles eran las causas de la generación excesiva de desperdicio se detectó que esas causas en su mayoría se trataban de problemas operacionales, seguidas por los de mantenimiento.

El área de producción centró la atención en los problemas operacionales. Mediante un pesaje segregado por causa operacional (ya sea por deficiente aplicación de adhesivo, exceso de calor, materia prima en mal estado, etc.) se logró asignarle el porcentaje de participación en el desperdicio total a cada causa. Este análisis aclaró el panorama y se concluyó que el primer problema a atacar desde el área de operaciones era el de la deficiencia en el proceso de fabricación de adhesivo, específicamente los problemas que se tenían con el descontrol en la variable preponderante en este proceso que es la viscosidad del adhesivo.

El problema radicaba en un primer momento en que las mediciones de la viscosidad si bien se realizaban con los instrumentos correctos, no se contaba con una carta de control para anotar las mediciones realizadas, un intervalo establecido entre mediciones y tampoco un control estadístico de proceso. El operador solo hacía las mediciones cuando tenía la presunción de que había un problema con la viscosidad lo que generaba un alto índice de descontrol de la variable y por consiguiente un claro aumento en el porcentaje de desperdicio generado por la planta.

La problemática afectaba desde operarios encargados de la fabricación del adhesivo hasta los líderes de la jefatura de producción y calidad. Debido a que, al no hacer uso de los controles estadísticos, los operarios no podían determinar si su proceso se encontraba estable o cómo se comportaría en un determinado lapso dejándose llevar en casi todas las ocasiones por intuición y el conocimiento empírico del proceso. En el caso de los líderes de producción también se encontraban en problemas frente a este hecho ya que no podían dar una interpretación satisfactoria de los datos recabados. Por lo general en la empresa se analizaban los datos de manera individual y no como una data conjunta.

2.2 Alternativa de solución a implementar

La alternativa de solución a implementar fue diagnosticar y mejorar la calidad del adhesivo utilizado en la fabricación del cartón corrugado implementando un control estadístico de procesos (CEP) en la variable “viscosidad”. Mediante CEP se buscaba definir si el proceso se encontraba estable estadísticamente, si no era el caso identificar las principales causas de la inestabilidad en el proceso, la corrección y posterior implementación de mejoras, todo esto haciendo uso de las principales herramientas estadísticas como los histogramas, gráficas de control y diagrama de causa- efecto.

2.3 Objetivos

2.3.1 General

- Reducir mermas generadas en Trupal S.A. mejorando el desempeño del adhesivo utilizado en el proceso de fabricación del cartón corrugado.

2.3.2 Específicos

- Identificar las causas de la variabilidad de los valores de la viscosidad del adhesivo en el proceso de fabricación del cartón.
- Proporcionar al personal responsable las herramientas necesarias para que recopilen, analicen e interpreten los datos obtenidos del proceso facilitando la elaboración de un Sistema de Control de Procesos.
- Elaborar un control estadístico para medir el desempeño del adhesivo en el proceso de fabricación del cartón corrugado con el propósito de ajustar el proceso a los resultados deseados.

2.4 Alcance

2.4.1 Alcance funcional

El alcance del proyecto abarcó las funciones correspondientes a los procesos del área de corrugado de la empresa Trupal S.A.

2.4.2 Alcance organizacional

El alcance organizacional fue en la Gerencia de cajas, que abarca la gerencia y jefatura de producción y la jefatura de calidad.

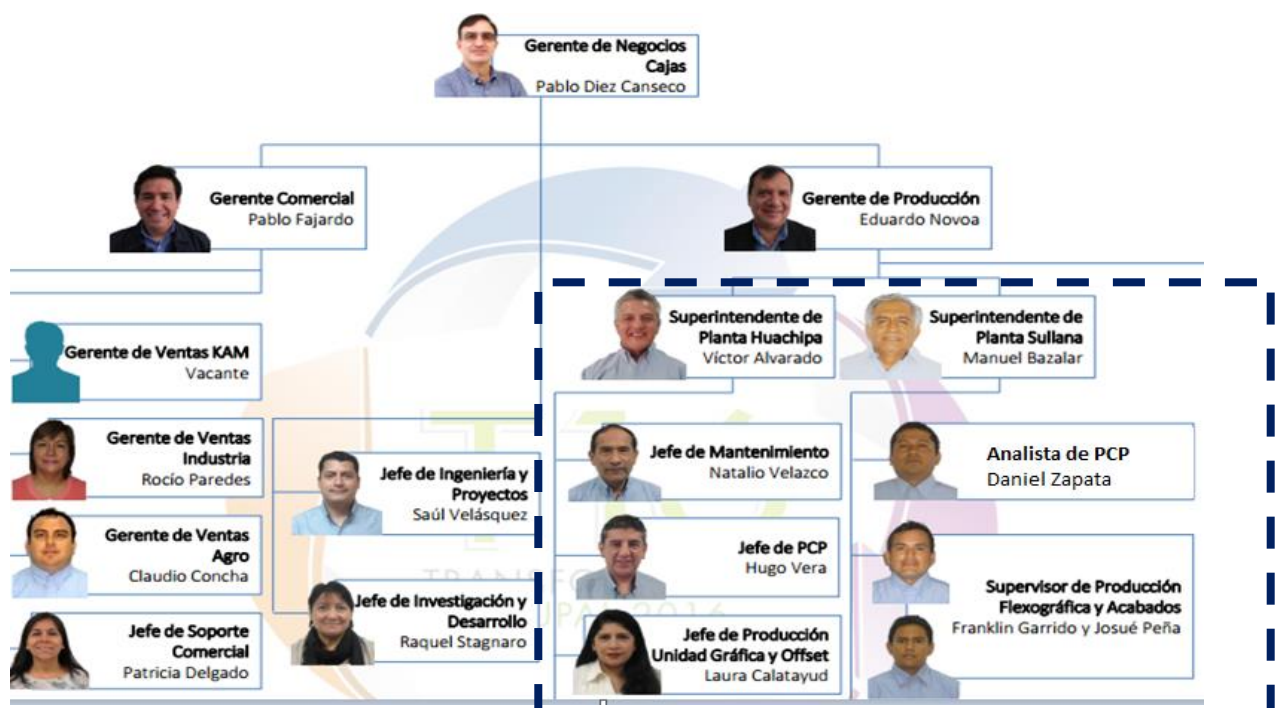


Figura 4. Alcance Organizacional de la investigación

Elaboración Propia

2.4.3 Alcance geográfico

La investigación desarrollada tuvo un alcance geográfico tanto en la planta ubicada en la provincia de Sullana, departamento de Piura como también en la planta ubicada en el departamento de Lima.



Figura 5. Localización de Trupal S.A a nivel nacional

Elaboración propia

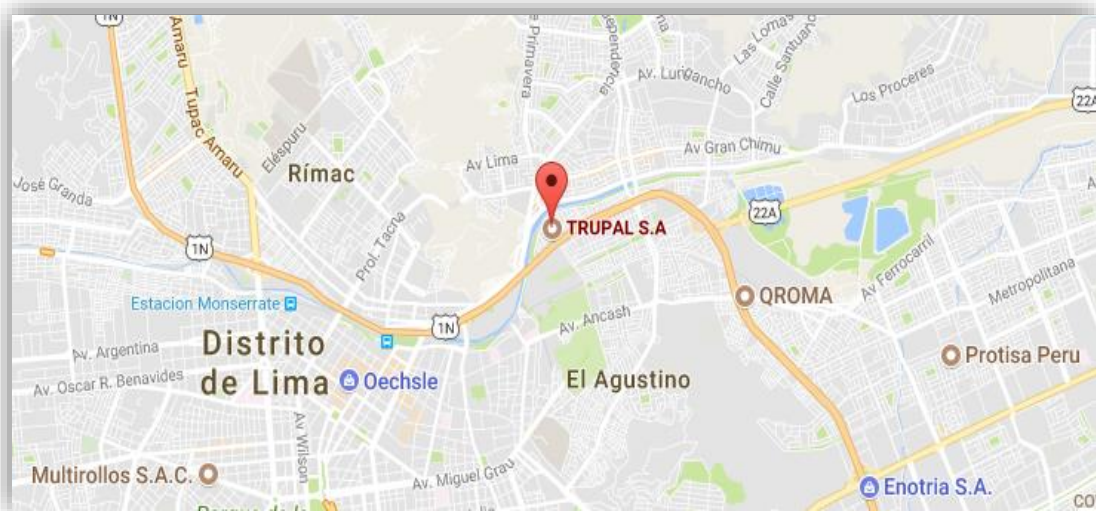


Figura 6. Localización de la Planta Trupal S.A - Sede Lima

Elaboración propia



Figura 7. Imagen panorámica de Planta Trupal S.A- Sede Sullana
Elaboración propia

2.5 Etapas y metodología

En la metodología se describió de manera minuciosa los pasos que se realizaron para cumplir los objetivos.

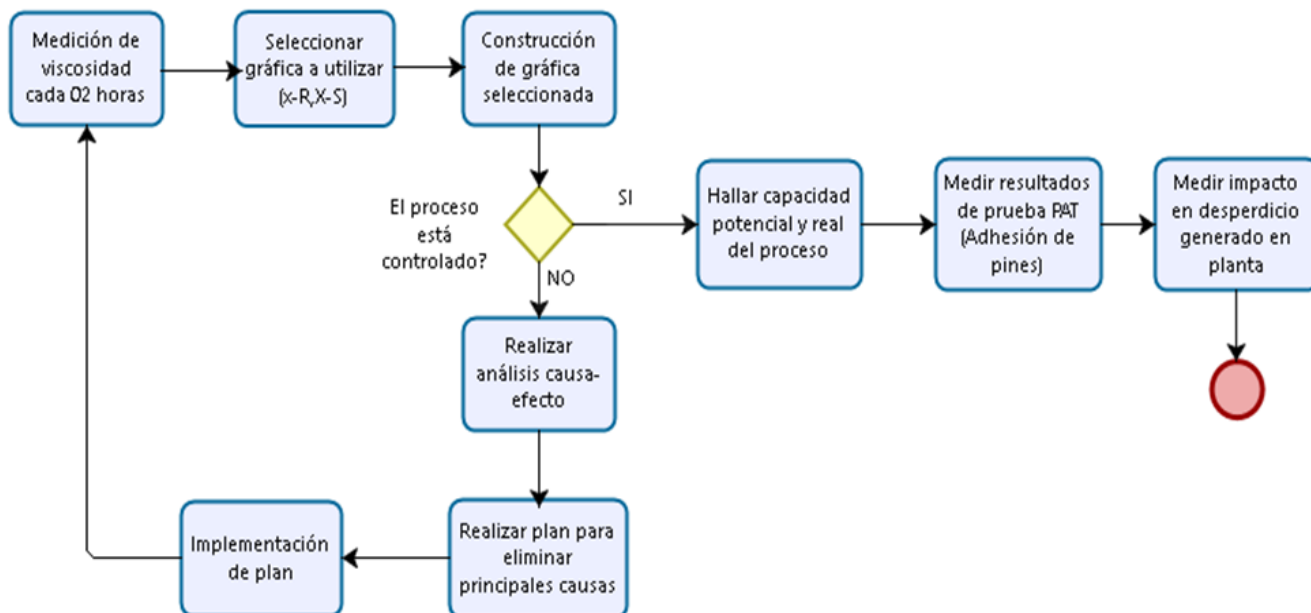


Figura 8. Metodología del proyecto

Elaboración propia

1. Se inició el proyecto estableciendo un plan de medición de viscosidad, de cada 02 horas en el área de corrugado de la planta Trupal S.A sede Sullana. Estas mediciones fueron registradas por el operador a cargo en ambos turnos de producción y presentadas diariamente al supervisor del área que tenía la tarea de consolidarlo en una carta de control con las mediciones registradas en los posteriores días para el análisis de datos de al menos 15 días.
2. Una vez registrados 15 días de mediciones de la viscosidad del adhesivo se procedió a analizar la data y según el número de subgrupos y muestras se seleccionó la gráfica de control que para este caso fue la gráfica de medias y desviaciones estándar.
3. Con la data diaria registrada de los 15 días se construyó la gráfica X-S
4. Con la gráfica X-S se determinó si la viscosidad del adhesivo se encontraba fuera de control.

5. Si el proceso se encontraba fuera de control se procedía a realizar un análisis de causa-efecto o también conocido como diagrama de Ishikawa para determinar las principales causas que originaban que el proceso en estudio no se encuentre bajo control estadístico.
6. Una vez identificadas las causas que originaban el problema se realizó e implementó un plan de mejora del proceso, determinando la forma en que se realizaría y el periodo esperado para su implementación.
7. Después de realizar la implementación de las medidas correctivas del plan se hizo nuevamente la medición de la variable viscosidad cada 02 horas durante un periodo de 15 días, con el fin de medir el impacto generado en el desperdicio de la planta por las medidas correctivas realizadas al proceso de fabricación de adhesivo para el cartón corrugado.

2.6 Fundamentos teóricos

Con el propósito de encontrar algunas respuestas a los objetivos específicos planteados en este estudio, se hace una revisión de la literatura, analizando algunas de las herramientas más utilizadas para el control del proceso conocido como “Control Estadístico del Proceso (CEP)”. El CEP es una serie de herramientas utilizadas para la solución de problemas enfocados a lograr la estabilidad del proceso y mejorar su habilidad, a través de la reducción de la variabilidad ocasionada por distintos factores en el proceso.

Para que un producto cumpla especificaciones del cliente en forma consistente, debe ser producido por un proceso estable y repetible, con poca variación alrededor del valor nominal de las características de calidad del producto. Por lo que durante esta revisión se definirán conceptos importantes del CEP y la aplicación de algunas de las herramientas más importantes como son los histogramas, las cartas de control, diagramas causa efecto y gráficas de pareto.

2.6.1 Distribución normal

Una de las distribuciones más importantes en el campo de la estadística es la distribución normal. Su gráfica recibe el nombre de curva normal, esta describe situaciones que ocurren en la industria, la naturaleza y en la investigación. Con esta distribución se pueden explicar medidas físicas y mediciones sobre partes de manufactura o que corresponden a un proceso.

La distribución de probabilidad conocida como distribución normal es, por la cantidad de fenómenos que explica, la más importante de las distribuciones estadísticas. (Juan, Sedano, & Vila, 2008)

Una distribución normal se puede definir como la tabulación o el registro por marcas del número de veces que se presenta una cierta medición de la característica de la calidad dentro de la muestra de un producto que se está examinando.

La distribución de probabilidad normal y la curva normal que la representa, tienen las siguientes características:

- La curva normal tiene forma de campana y un solo pico en el centro de la distribución. De esta manera, la media aritmética, la mediana y la moda de la distribución son iguales y se localizan en el pico. Así, la mitad del área bajo la curva se encuentra a la derecha de este punto central y la otra mitad está a la izquierda de dicho punto.
- La distribución de probabilidad normal es simétrica alrededor de su media.
- La curva normal desciende suavemente en ambas direcciones a partir del valor central. Es asintótica, lo que quiere decir que la curva se acerca cada vez más al eje X, pero jamás llega a tocarlo. Es decir, las “colas” de la curva se extienden de manera indefinida en ambas direcciones

Se observan 03 características importantes del proceso: El valor central aproximado, la dispersión de los valores, la relación entre los valores observados y las tolerancias del plano.

Esta distribución es simétrica, unimodal y en forma de campana. Las áreas entre las diferentes desviaciones estándar son:

$$\mu \pm 1\sigma \text{ 68.26\%}$$

$$\mu \pm 2\sigma \text{ 95.46\%}$$

$$\mu \pm 3\sigma \text{ 99.73\%}$$

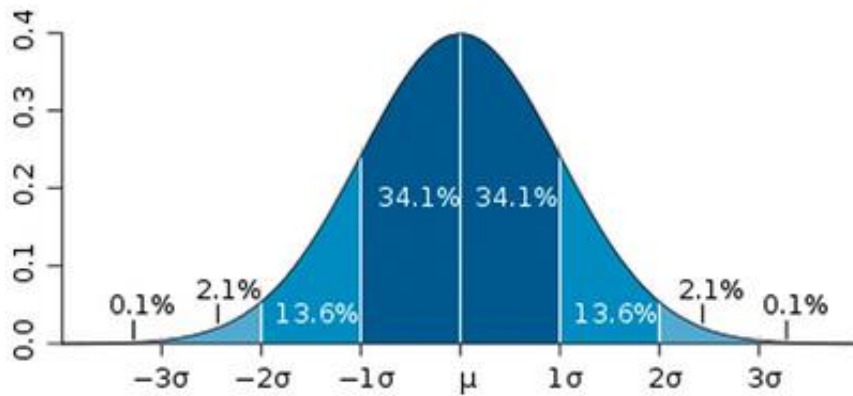


Figura 9. Campana de Gauss

Elaboración propia

La distribución de frecuencias establece que las piezas consideradas en forma individual dan relativamente poca información. El lote del cual forman parte estas piezas rinde una información más significativa. Es mejor considerar a las piezas individuales como unidades de un gran lote.

Realmente, para representar la característica de calidad de estas piezas, se requiere el estudio de una muestra de un tamaño adecuado, tomada del mismo lote al que pertenece, para tener una imagen representativa de la variación total que pueda esperarse cuando todas las variables posibles entren en conjunción.

2.6.2 Teorema del límite central

El teorema central del límite es uno de los resultados fundamentales de la estadística. Este teorema nos dice que si una muestra es lo bastante grande (generalmente cuando el tamaño muestral (n) supera los 30 de variables independientes sea cual sea la distribución de la media muestral, seguirá aproximadamente una distribución normal. Es decir, dada cualquier variable aleatoria, si extraemos muestras de tamaño n ($n > 30$) y calculamos los promedios muestrales, dichos promedios seguirán una distribución normal.

Además, la media será la misma que la de la variable de interés, y la desviación estándar de la media muestral será aproximadamente el error estándar.

Un caso concreto del teorema central del límite es la distribución binomial. A partir de $n=30$, la distribución binomial se comporta estadísticamente como una normal, por lo que podemos aplicar los tests estadísticos apropiados para esta distribución. La importancia del teorema central del límite radica en que, mediante un conjunto de teoremas, se desvela las razones por las cuales, en muchos campos de aplicación, se encuentran en todo momento distribuciones normales o casi normales. Este teorema se aplica tanto a suma de variables discretas como de variables continuas.

La distribución normal es un instrumento para la interpretación de las gráficas de control o el fundamento estadístico de la gráfica de control es el Teorema del Límite Central, el cual nos indica que aun cuando la población bajo estudio no tenga una distribución normal, el agrupamiento de los promedios tiende a tenerla.

2.6.3 Control Estadístico del Proceso (CEP)

Un proceso industrial está sometido a una serie de factores de carácter aleatorio que hacen imposible fabricar dos productos exactamente iguales. (Rojas, 2006)

Dicho de otra manera, las características del producto fabricado no son uniformes y presentan una variabilidad. Esta variabilidad es claramente indeseable y el objetivo ha de ser reducirla lo más posible o al menos mantenerla dentro de unos límites. El Control Estadístico de Procesos es una herramienta útil para alcanzar este segundo objetivo. Dado que su aplicación es en el momento de la fabricación, puede decirse que esta herramienta contribuye a la mejora de la calidad de la fabricación. Permite también aumentar el conocimiento del proceso (puesto que se le está tomando “el pulso” de manera habitual) lo cual en algunos casos puede dar lugar a la mejora del mismo.

El método general es prescriptivo y descriptivo, no es analítico. Al controlar estadísticamente los procesos no se trata de moldear la distribución de datos reunidos en un proceso dado. Lo que se trata es de controlar el proceso con ayuda de reglas de decisión que localicen discrepancias apreciables entre los datos observados y las normas del proceso que se controla. Se dice que un proceso está bajo control estadístico cuando sólo se producen variaciones debidas a causas comunes. En otras palabras, el objetivo y razón de ser control Estadístico de Procesos es ayudar a

identificar las causas especiales que producen variaciones en el proceso y suministrar información para tomar decisiones

El Control Estadístico del Proceso se conforma por una serie de herramientas para la solución de problemas mediante la reducción de la variabilidad del proceso, enfocados a lograr la estabilidad y mejorar la habilidad del proceso.

Las herramientas principales son:

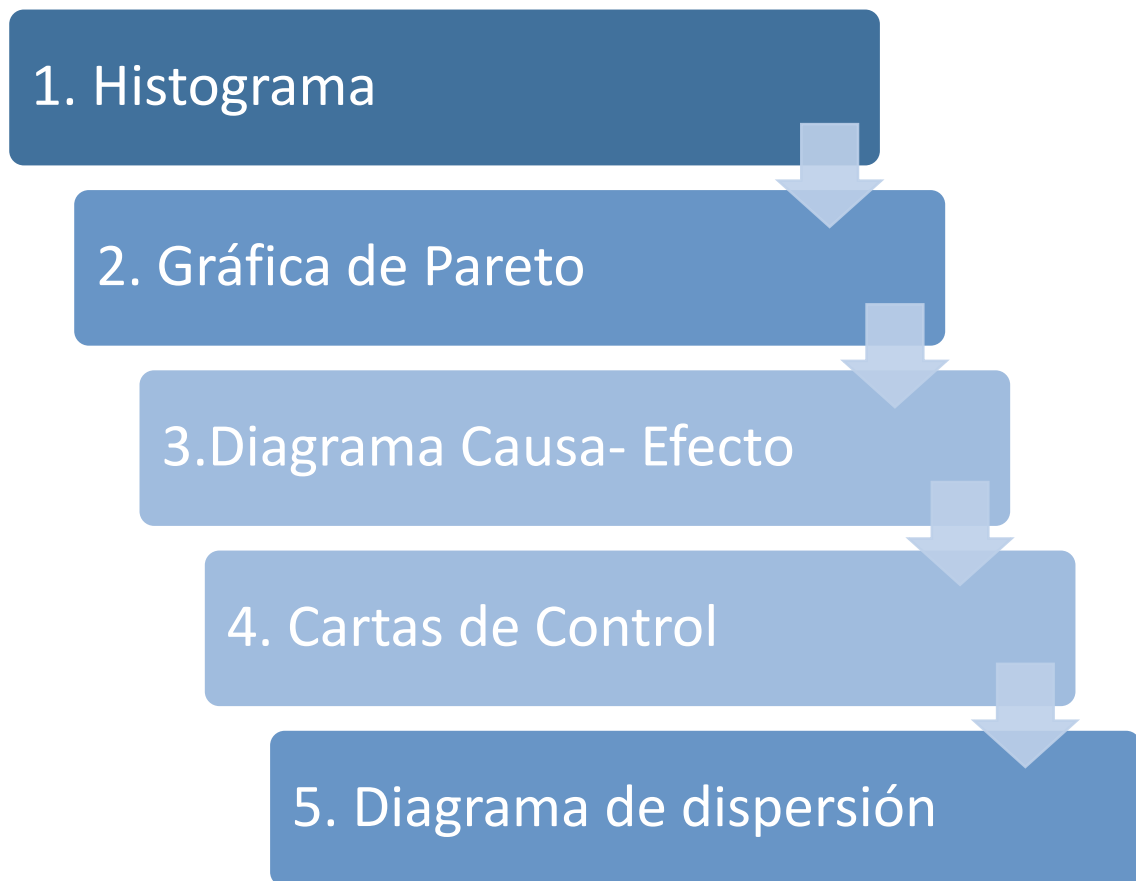


Figura 10. Principales Herramientas estadísticas

Elaboración propia

Herramientas básicas para el Análisis de Datos

A. Histograma

Se utiliza cuando se necesita describir y mostrar la distribución de datos y el número de unidades en cada categoría por medio de gráficos de barras, es de mucha ayuda para desplegar en una gráfica de barras la frecuencia con lo que ciertos eventos ocurren.

Pasos para la elaboración de un histograma:

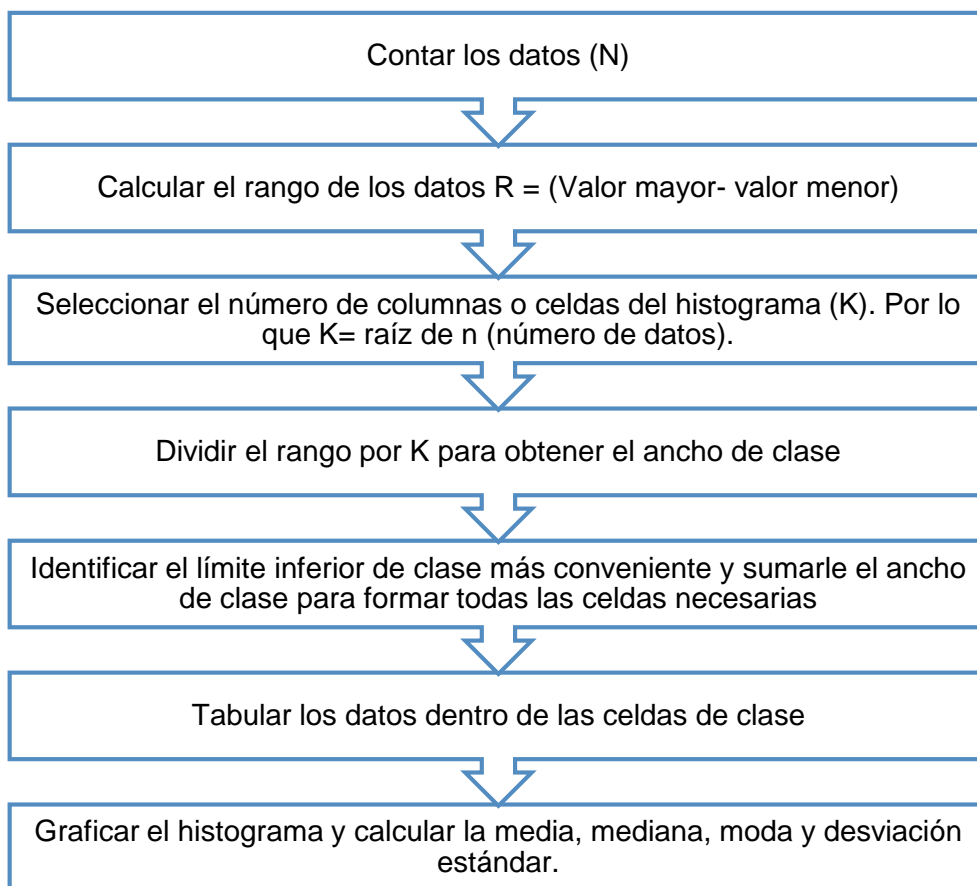


Figura 11. Proceso para elaboración de un Histograma

Elaboración propia

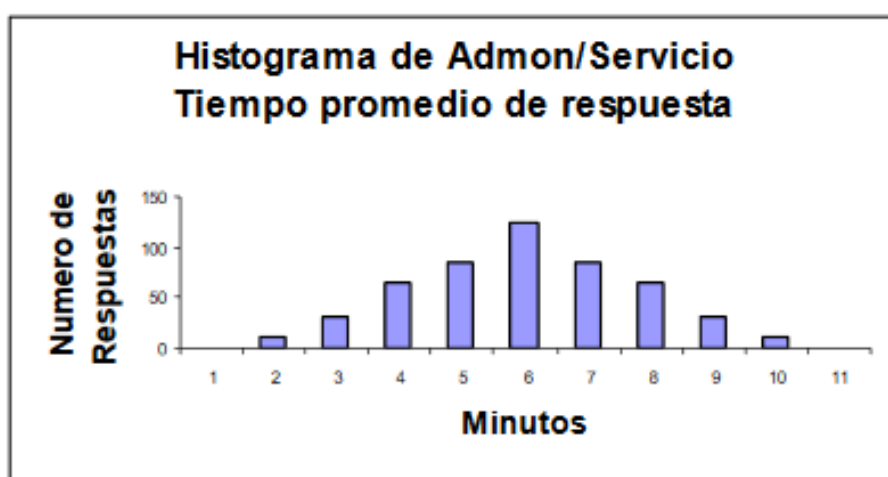


Figura 12. Modelo de Histograma

Fuente: Vasquez (2004)

B. Gráfica de Pareto

En este diagrama se representa la importancia relativa de todos los problemas o condiciones con el objetivo de elegir el punto de partida para resolver un problema, qué problema resolver en qué orden, monitorear el éxito obtenido o identificar la causa básica de un problema. El diagrama de Pareto tiene diversas aplicaciones, entre las que se encuentran los siguientes ejemplos: defectos encontrados en el proceso de inspección, diferentes tipos de lesiones, quejas de clientes, etc.

Este diagrama se basa en el principio “80 – 20” que quiere decir que 20% de las causas resuelven el 80% del problema y el 80% de las causas tan solo resuelven el 20% del problema, con lo cual se busca atacar las causas más preponderantes del problema para concentrar los esfuerzos en la solución o mejora del problema, una vez localizados y resueltos los problemas se vuelve a trabajar con las causas que quedan con la filosofía 80 – 20 convirtiéndose en un ciclo.

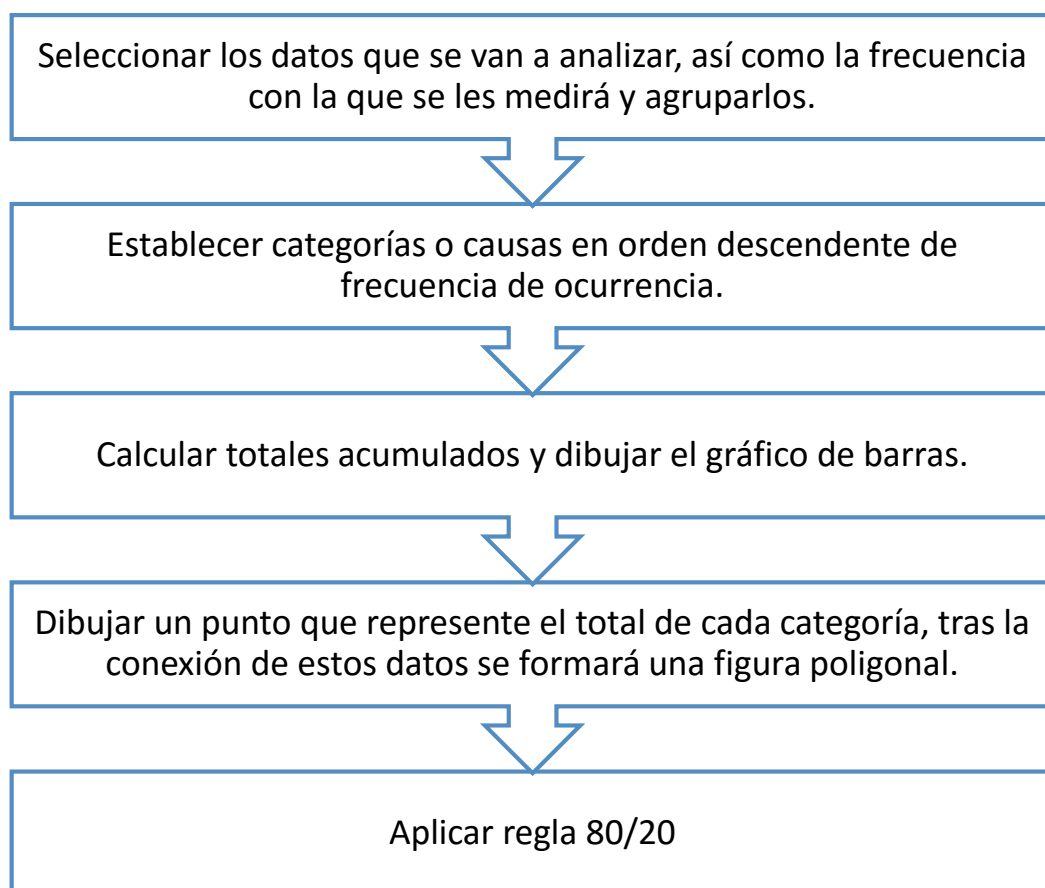
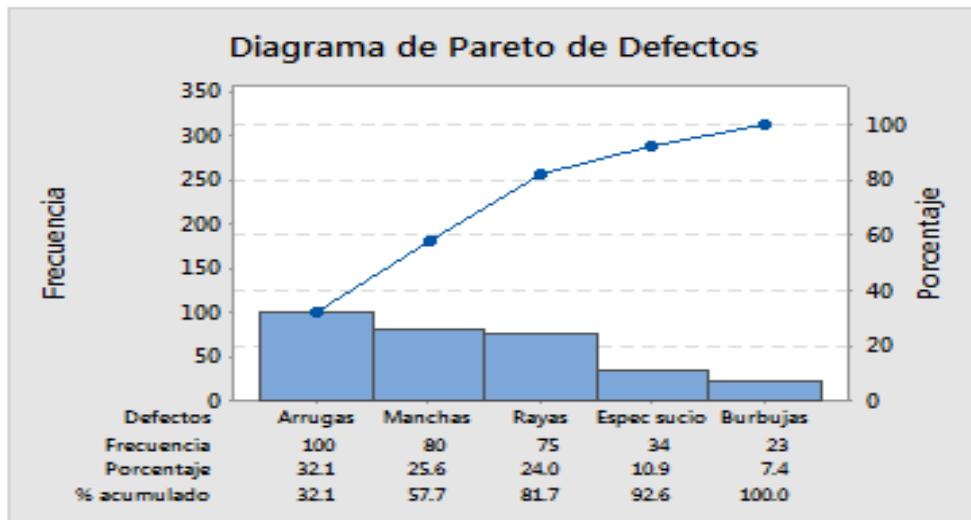


Figura 13. Proceso para la elaboración del Diagrama de Pareto

Elaboración propia



C. Diagrama de Causa – Efecto

Es una representación gráfica que organiza de forma lógica y en orden de mayor importancia las causas potenciales que contribuyen a crear un problema determinado, la naturaleza gráfica del diagrama permite que los grupos organicen grandes cantidades de información sobre el problema y determinar con exactitud las posibles causas, aumentando la probabilidad de encontrar las causas principales.

Este tipo de diagrama inicia con un gráfico que se divide en 04 espinas principales, los comúnmente llamado 4Ms: máquina, mano de obra, material y método, a partir de ahí se desarrolla la lluvia de ideas partiendo de estos 04 puntos de los cuales se desprenderán “sub-espinas” que tendrán en un extremo las posibles causas. Este método a diferencia del Pareto no brinda la causa más importante del problema con su solo concepción, sino que se debe hacer un descarte a partir de la lluvia de ideas realizadas para en base a la percepción designar la causa principal del problema.

Pasos para crear un diagrama causa efecto:

1. Identificar el programa, debe ser claro y concreto.
2. Escribir la frase resumen del problema en el extremo derecho de la hoja, que se convertirá en la “cabeza del pescado” a partir del cual se desprenderán las espinas (Posibles causas)

3. Dibujar las espinas principales, no hay una regla fija sobre qué categoría se debe utilizar, pero por lo general se opta porque sean las 4Ms (mano de obra, método, maquinaria, materiales)
4. Realizar la lluvia de ideas sobre las posibles causas del problema analizado, estas ideas se convertirán en las espinas de gráfico, se debe tener en cuenta que la lluvia de ideas debe ser únicamente sobre las causas y no sobre posibles soluciones, a cada causa indicada por algún miembro del grupo le debe seguir un “por qué” para asegurar que esté al nivel apropiado. Esta es la parte más importante en la construcción del diagrama.
5. Identificar a las causas más probables, las causas seleccionadas son opiniones y deberán ser sustentadas con más datos. Una vez seleccionadas estas causas se procederá a trabajar sobre esas ideas para eliminar el problema.

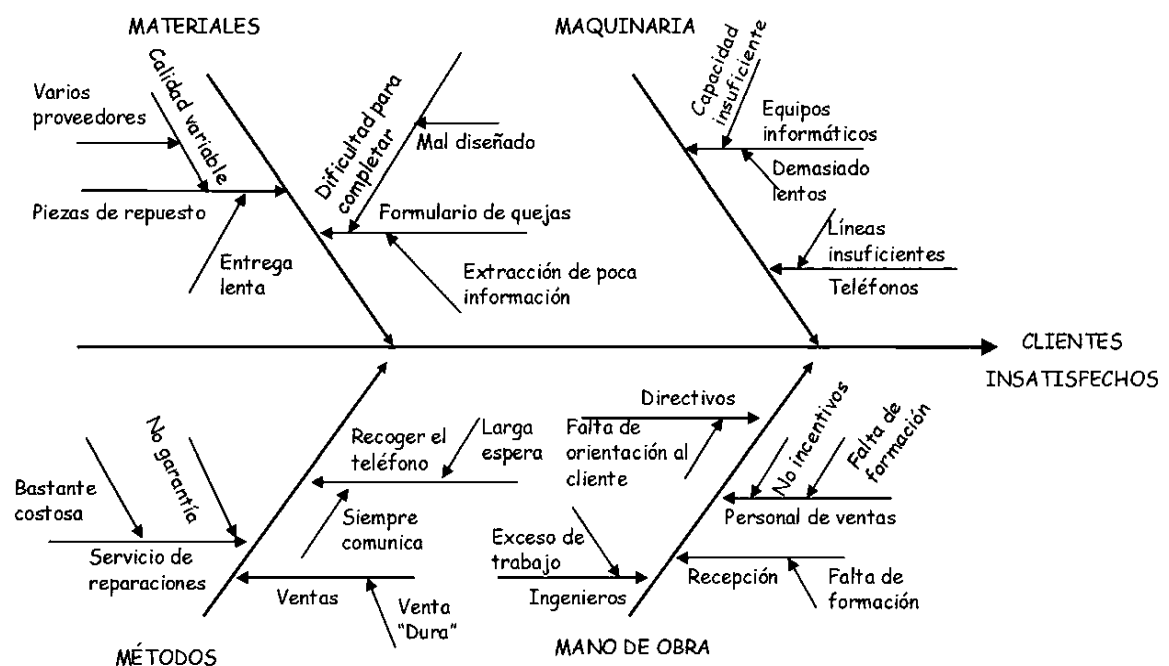


Figura 15. Diagrama causa-efecto

Fuente: Sociedad Latinoamericana para la Calidad (2000)

D. Cartas de Control

Un gráfico de control es un diagrama especialmente preparado donde se van anotando los valores sucesivos de la característica de calidad que se está controlando. Las gráficas de control se utilizan en la industria como técnica de diagnósticos para supervisar procesos de producción e identificar inestabilidad y circunstancias anormales.

Una vez calculado los límites de control y se consideren aceptables para implantarse en la fabricación, las gráficas de control comienzan a desarrollar su misión principal: auxiliar en el control de la calidad de la materia prima, de lotes de producción, de los elementos aislados o de los ensambles durante su fabricación actual. (Feigenbaum, 2008)

Límites de control

Los límites de control de una gráfica de control son las líneas horizontales ubicadas arriba y debajo de la línea central que representan la variación del proceso y ayudan a indicar cuando el proceso está fuera de control. Los límites de control superior e inferior se basan en la variación aleatoria esperada en el proceso.

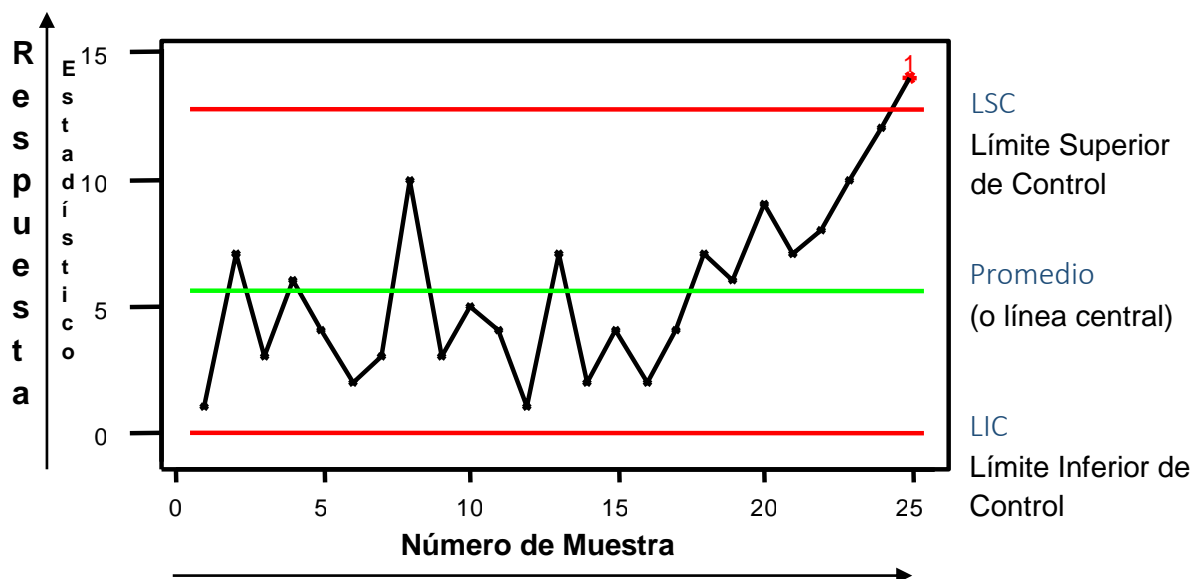


Figura 16. Cartas de Control

Elaboración propia

Criterios para analizar cartas de control

En la siguiente tabla se incluyen algunas reglas utilizadas frecuentemente para analizar el gráfico de medias y establecer si el proceso se encuentra fuera de control. En la columna de la derecha se indica la probabilidad de que se diera esta circunstancia en el caso de un proceso normal.

	Descripción	Probabilidad
1	Un punto está fuera de los límites de control.	0.27%
2	De tres puntos consecutivos, dos o más están en una de las zonas A (la misma)	0.15%
2A	Dos puntos consecutivos están en una de las zonas A (la misma).	0.05%
3	Racha de cinco puntos en la que cuatro están en la misma zona A o B.	0.27%
3A	Racha de cuatro puntos consecutivos que están en la misma zona A o B.	0.06%
4	Racha de siete puntos consecutivos por encima de la línea central.	0.78%
4A	Racha de seis puntos consecutivos por encima de la línea central.	1.56%
4B	Racha de ocho puntos consecutivos por encima de la línea central.	0.39%
5	Racha de seis puntos consecutivos se presentan de manera monótona creciente.	0.14%
6	De diez puntos consecutivos, existe una racha de 8 que se presentan de manera monótonaR creciente.	0.07%
6A	De nueve puntos consecutivos, existe una racha de 8 que se presentan de manera monótona creciente.	0.02%
6B	De nueve puntos consecutivos, existe una racha de 7 que se presentan de manera monótona creciente. 0,	0.42%
7	Dados dos puntos consecutivos, el segundo está al menos cuatro desviaciones típicas por encima del primero (por ejemplo, el primero está en la zona A inferior y el segundo en la B ó A superior).	0.23%
8	Racha de quince puntos en la zona C	0.30%

Tabla 1. Criterio para analizar cartas de control

Fuente: Romero (2011)

A continuación, veamos cómo se pueden interpretar estas indicaciones:

a) Reglas 1, 2, 3, 3A, 4, 4A, 4B y 7. Si el gráfico de medias presenta alguna de estas indicaciones y el gráfico S o R no presenta anomalías, lo más probable es que el proceso se encuentre desplazado. Si el gráfico S o R presenta también indicaciones, entonces el proceso ha aumentado la variabilidad y posiblemente también se ha desplazado.

b) Reglas 5, 6, 6A, 6B. Lo más probable es que el proceso esté desplazándose.

c) Regla 7. Si el gráfico S o R no presenta anomalías, lo más probable es que el proceso sea muy inestable en cuanto a su centrado. Si el gráfico S o R presenta también indicaciones, entonces es probable que el proceso haya aumentado la variabilidad.

d) Regla 8. Puede ser síntoma de que se ha reducido la variabilidad del proceso si el gráfico S o R también muestra una reducción de la variabilidad muestral. Si el gráfico S o R no muestra una reducción de la variabilidad muestral, puede ocurrir que se estén mezclando dos poblaciones distintas, siendo la distribución resultante bimodal (dos jorobas).

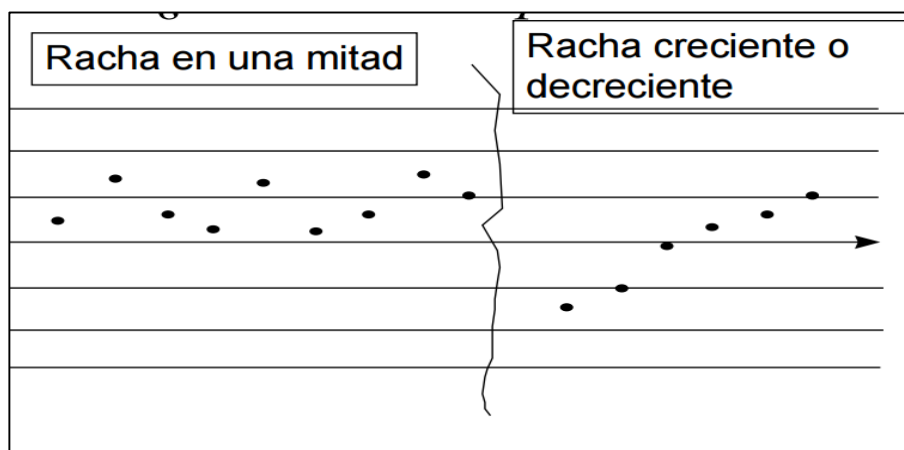


Figura 17. Tendencias que indican Causas especiales

Fuente: Rojas (2006)

2.6.4 Gráficas de control de media y rango (X – R)

Las cartas de control X y R se usan ampliamente para monitorear la media y la variabilidad. El control del promedio del proceso, o nivel de calidad medio, suele hacerse con la gráfica de control para medias, o gráfica X.

La variabilidad de proceso puede monitorizar con una gráfica de control para el rango, llamada gráfica R. Generalmente, se llevan gráficas X y R separadas para cada característica de la calidad de interés.

2.6.4.1 Gráfica R

Esta carta de control se usa para monitorear la variabilidad del proceso, para generar esta gráfica se debe restar el mayor valor del menor valor de un grupo de muestras, si alguna de estas diferencias queda fuera de los límites del proceso se llega a la conclusión de que la variabilidad del proceso está fuera de control.

Para hallar el límite superior e inferior de una gráfica de rangos se utilizan las siguientes fórmulas:

$$LSC = D_4 \times R$$

$$LSI = D_3 \times R$$

- R= Promedio del valor de los rangos.
- D4 y D3= Constantes que generan los límites, se pueden hallar en la tabla, cambian en función del tamaño de la muestra.

2.6.4.2 Gráfica X

La carta de control de medias se construye a partir de la información adquirida en la toma de muestras en un proceso y sirve para monitorear y controlar un proceso.

Se puede construir una gráfica de medias cuando las causas asignables a la variabilidad del proceso han sido identificadas y la variabilidad de dicho proceso se encuentra dentro del control estadístico.

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \times R$$

$$LSI = \bar{\bar{X}} - A_2 \times R$$

- $\bar{\bar{X}}$ = Promedio general de las medias.
- A_2 = Constante que generan los límites, se pueden hallar en la tabla.
- R = Promedio de rangos.

Ventajas:

- Se utilizan para monitorear procesos con datos medibles (variables). Una para las medias y otra para los rangos.
- A parte de analizar la Carta X- (media) que analiza los promedios de las muestras del proceso monitoreando tendencias en la media del proceso, también se analiza la gráfica R la cual analiza los rangos de las muestras del proceso monitoreando la variabilidad del proceso.
- Para pequeños tamaños de subgrupos desde 3 a 6 piezas.

Desventajas:

- No se puede utilizar esta carta cuando el tamaño del subgrupo es mayor de 8, donde el rango pierde eficiencia por no tomar en cuenta valores intermedios.
- El tamaño de muestra de cada subgrupo debe ser constante.

2.6.4.3 Gráfica de medias y desviación estándar ($\bar{x} - s$)

La construcción de esta gráfica es muy parecida a la carta de control $\bar{x} - r$, en este caso los tamaños de la muestra pueden ser variables y es muy sensible a la detección de variabilidad de proceso.

La gráfica \bar{x} promedio monitorea el proceso para vigilar tendencias y la gráfica s monitorea la variación en forma de desviación estándar.

Estas gráficas de control se recomiendan cuando:

1. El tamaño de muestra es moderadamente grande $n > 10$ o 12 (donde el rango pierde eficiencia por no tomar en cuenta valores intermedios).
2. El tamaño de muestra es variable.

Para hallar los límites de control para esta gráfica:

Para \bar{X} Promedio:

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_3 \times \bar{S}$$

$$LSI = \bar{\bar{X}} - A_3 \times \bar{S}$$

Para desviación estándar:

$$LSC = B_4 \times \bar{S}$$

$$LSI = B_3 \times \bar{S}$$

Descripción:

- $\bar{\bar{X}}$ = Promedio de promedios
- \bar{S} = Desviación estándar promedio.
- A_3, B_4, B_3 = Constantes obtenidas de tabla según número de muestras.

Ventajas:

- Esta gráfica es la más completa, más exacta, más sensible y proporciona más información, ya que utiliza los parámetros Media y Desviación estándar que son los que mejor definen una distribución de probabilidad.
- Para tamaños de muestra en cada subgrupo moderadamente grande mayor a 9
- Además, para cuando la muestra del subgrupo es variable.

2.6.5 Análisis de la capacidad del proceso

La capacidad de procesos es la forma en que se mide objetivamente si un proceso es capaz de satisfacer los requerimientos o especificaciones del producto, comparando la variación natural del mismo. Existen dos formas de variabilidad:

1. La variabilidad natural en un cierto tiempo (instantánea)
2. La variabilidad en el tiempo.

El análisis de capacidad de proceso se convierte por lo tanto en parte fundamental para cualquier plan de mejoramiento de calidad, entre sus principales usos podemos encontrar:

- Prever el grado de variabilidad de un proceso, conociendo que tanto se acercará a las tolerancias especificadas.
- Brindar a los responsables del diseño del producto la información necesaria para seleccionar entre procesos que compiten, el proceso más adecuado.
- Seleccionar entre proveedores que compiten.
- Asignar máquinas a los trabajos para los cuales son más adecuados para el cumplimiento de tolerancias del producto.

Índice	Uso	Definición	Fórmula
Cp.	El proceso está centrado en los límites de especificación	Es el radio entre la amplitud permitida (distancia entre los límites de especificación) y la amplitud natural	$(LES-LEI) / 6\sigma$
Cpk	El proceso no está centrado en los límites de especificación, pero está contenido en ellos	Es el cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural, teniendo en cuenta la media del proceso respecto al punto medio de ambos límites de especificación	$\text{Min}((LES-u) / 3\sigma, (u-LEI) / 3\sigma)$
CPU	El proceso solo tiene un límite de especificación superior		$(LES-u) / 3\sigma$
CPL	El proceso solo tiene un límite de especificación inferior		$(u-LEI) / 3\sigma$

Tabla 2: Análisis de la Capacidad del Proceso

Elaboración propia

2.6.6 Índice de capacidad de proceso

Se consigue comparando la tolerancia especificada y la variación natural del proceso, cuando se tienen dos límites especificados.

C_p = Rango de especificación/ Capacidad de proceso

$$C_p = \frac{(LE_S - LE_I)}{6\sigma}$$

LE_S = Límite de especificación superior

LE_I = Límite de especificación inferior

Con el indicador obtenido se establecen tres requisitos a cumplirse:

Valor de C_p .	Clase de proceso	Decisión
$C_p > 2$	Clase mundial	Tiene calidad seis sigma
$1.33 \leq C_p \leq 2$	1	Más que adecuado
$1 \leq C_p \leq 1.33$	2	Adecuado para el trabajo, pero requiere de un control estricto conforme el C_p se acerca a 1
$0.67 \leq C_p \leq 1$	3	No adecuado para el trabajo. Un análisis de proceso es necesario, requiere modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria
$C_p \leq 0.67$	4	No adecuado para el trabajo, requiere de modificaciones serias.

Tabla 3. Decisiones de acuerdo con el Valor de Capacidad de Procesos
Elaboración propia

Así, el índice C_p mide la capacidad potencial, suponiendo que el promedio del proceso es igual al punto medio de los límites de especificación y que el proceso está operando bajo control estadístico; como con frecuencia el promedio no se encuentra en el punto medio, es útil tener un índice de habilidad que refleje ambas variaciones y la localización del promedio del proceso.

Tal índice es Cpk.

$$Cpk = \min \left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma} \right| \\ \left| \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma} \right| \end{array} \right.$$

Siempre se cumple que,

$$Cpk \leq Cp.$$

Siendo el Cpk menor cuando el proceso no está centrado

Ishikawa mencionó que los estudios de la capacidad del proceso son la piedra angular del control de calidad, aseverando que sin el conocimiento de la capacidad del proceso es imposible toda la cadena de actividades del control de calidad como es: el diseño de calidad, diseño del proceso, planificación y control del equipo, control del proceso y la mejora. (Ishikawa, 1994)

Este cálculo se puede hacer de tres formas diferentes los cuales son:

- a) Habilidad del proceso por porcentaje de piezas o datos dentro de especificación por el método del área bajo la curva normal.
- b) Capacidad potencial del proceso en donde se detecta la Factibilidad de estar dentro de especificación por medio del Cp.
- c) Habilidad real del proceso por medio del Cpk

Los criterios para determinar si una habilidad es aceptable son:

Para el caso:

- a) 99.73% de piezas o datos dentro de especificación para $\pm 3 \sigma$
99.994% de piezas dentro de especificación para $\pm 4 \sigma$
- b) $Cp. \geq 1$ para $\pm 3 \sigma$
 $Cp. \geq 1.33$ para $\pm 4 \sigma$
- c) $Cpk \geq 1$ para $\pm 3 \sigma$
 $Cpk \geq 1.33$ para $\pm 4 \sigma$

El cálculo de la estimación de los parámetros poblacionales:

- $\mu' = \bar{x}$ (Para gráficas promedio rango o promedio desviación estándar)
- $\mu' = \bar{x}$ (Para gráficas de lecturas individuales)
- $\sigma' = \frac{\bar{S}}{C_4}$ (En gráficas de promedio desviación estándar)
- $\sigma' = \frac{\bar{R}}{d_2}$ (En gráficas de promedio rango y lecturas individuales)

El símbolo prima (') indica que es un estimador del valor real.

Cálculo de la habilidad del proceso

Por porcentaje de piezas y datos dentro de especificación

Con el valor de μ y σ estimado, el cálculo del porcentaje de piezas dentro de especificación se realiza con las siguientes fórmulas

1.- Calcular Z_i (inferior) y Z_s (superior):

$$Z_s = \frac{LSE - \mu'}{\sigma'} \qquad Z_i = \frac{LSI - \mu'}{\sigma'}$$

2.- Calcular el área de la curva normal entre Z_s y Z_i

3.- El porcentaje encontrado representa el porcentaje de piezas o datos dentro de especificación.

Calculo de la capacidad potencial del proceso (caso b.-).

Este se calcula a través del indicador C_p , el cual es una medida de la relación que existe entre la variabilidad permitida ($LS_E - LI_E$) y la variable real (6σ):

$$C_p = \frac{LS_E - LI_E}{6 * \sigma}$$

- Si $C_p = 1$ significa que la base de la campana del proceso identificado como estudio (6σ) cabe exactamente en la variabilidad permitida ($LS_E - LI_E$) o variabilidad de especificación.

Esto da entender que la variabilidad real es igual a la variabilidad permitida o variabilidad de especificación.

- Si $C_p > 1$ significa que la campana puede caber más de una vez

Esto da entender que la variabilidad real es menor a la variabilidad permitida o variabilidad de especificación.

- Si $C_p < 1$ significa que el proceso no cabe en la variación especificada.

Esto da entender que la variabilidad real es mayor a la variabilidad permitida o variabilidad de especificación, o está fuera de especificación.

Calculo de la capacidad real del proceso

La habilidad real se calcula con el índice C_{pk} , y existen dos formas de calcularlo, las cuales nos dan resultados idénticos:

$$C_{P_K} = \frac{|Z_{MIN}|}{3}$$

Donde $|Z_{Min}|$ es el valor absoluto de la Z menor entre Z_S y Z_I

2.- La habilidad real del proceso se codifica como C_{pk} y se calcula con la ecuación:

$$C_{pk} = C_p(1 - K)$$

Si consideramos a la $k = \frac{2D}{LSE - LIE}$ y $D = \left| M - \overline{X} \right|$

$$M = \frac{LSE + LIE}{2}$$

D = Diferencia de la media del proceso y la media de especificación

M = Media de especificaciones

Criterios:

Para considerar que un proceso es realmente hábil se debe tener como mínimo a un:

$C_{pk} \geq 1.00$ para un $\pm 3 \sigma$ $C_{pk} \geq 1.33$ para un $\pm 4 \sigma$

$C_p \geq 1$ para $\pm 3 \sigma$ $C_p \geq 1.33$ para $\pm 4 \sigma$

Si el valor del C_{pk} es menor a lo descrito, se dice que el proceso no es realmente hábil. Se tiene que considerar y analizar donde está el problema o la causa de la no - habilidad.

2.6.7 Cartón corrugado: Definición y características

El cartón corrugado es un material utilizado fundamentalmente para la fabricación de envases y embalajes. Generalmente, se compone de tres o cinco papeles siendo los dos exteriores lisos y el interior o los interiores corrugados, lo que confiere a la estructura una gran resistencia mecánica.

El cartón corrugado es el resultado de la aplicación de la teoría de la resistencia de los materiales al campo del papel. Esta culmina, como en el caso de los materiales de construcción, en el reemplazamiento de vigas pesadas con mucha masa, por estructuras “estilizadas” y con la misma rigidez, pero mucho más ligeras.

El cartón corrugado es un material de celulosa, constituido por la unión de varias hojas lisas que uno o varios corrugados mantienen equidistantes. Ello confiere al cartón la propiedad de ser indeformable.

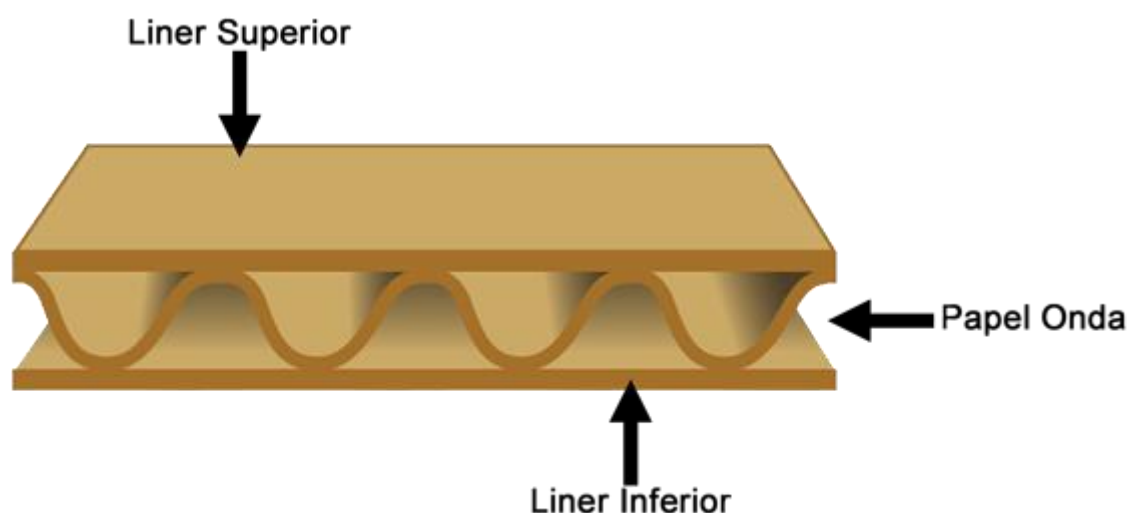


Figura 18. Composición del cartón corrugado

Fuente: Henkel Adhesives Latinoamérica (2014)

Sus elementos son: Papel onda, liners y adhesivo cuyas funciones principales son las siguientes:

Funciones del corrugado (ONDA)

- Aporta la resistencia a la compresión de la caja.
- Aumenta la rigidez a la flexión.
- Confiere una elasticidad parcial ante situaciones de aplastamiento y resistencia a impactos de la caja.

Funciones de los papeles lisos (LINERS)

- Confieren características de imprimibilidad a la caja.
- Aportan resistencia al embalaje.

Funciones de la cola (ADHESIVO)

- Une de una forma rápida y duradera los papeles a un ritmo apropiado de fabricación.
- Confiere resistencia a la humedad gracias a las resinas que la componen (en el caso de colas antihumedad).

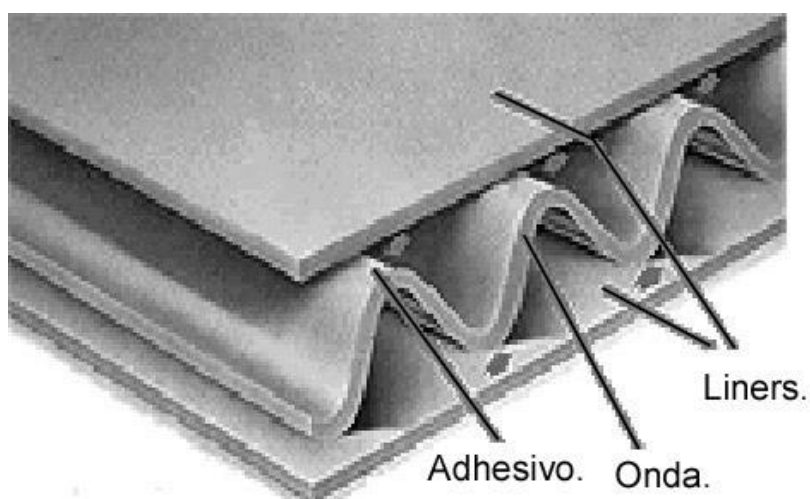


Figura 19. Función de los elementos de la materia prima

Fuente: Tellez García (2014)

2.6.7.1 Función del cartón corrugado

El cartón corrugado permite, en las mejores condiciones, la manipulación, el almacenamiento, la entrega, la presentación de los productos; es un elemento imprescindible para el transporte de los productos, ya que conserva su calidad original, desde los lugares de producción hasta su destino final.

El cartón corrugado es, hoy en día, el material número uno de embalaje, porque es el único que cumple simultáneamente funciones tan distintas como: agrupación de productos, protección de éstos contra impactos, vibraciones, luz, polvo y robo, durante la manipulación, el almacenamiento y la entrega, identificación de los productos, presentación y promoción, mediante la utilización de las cubiertas exteriores como soporte de información y publicidad.

Gracias a su gran adaptabilidad, el cartón corrugado es un embalaje hecho a medida, concebido y realizado para responder específicamente, y al menor coste, a todas las necesidades del usuario, cumple con las exigencias de transporte y distribución por sus cualidades prácticas, es un excelente soporte para la impresión.

Por otra parte, es un material que se puede recuperar, que en la industria papelera se recupera y se recicla para fabricar nuevos embalajes. El embalaje de cartón corrugado se emplea en todos los sectores industriales, agricultura y servicios. Sus paredes no dañan el contenido y absorben los impactos a que son sometidos durante su manipulación y transporte.

2.6.7.2 Fabricación del cartón corrugado

Uso de la máquina corrugadora para la fabricación del cartón corrugado

La onduladora es la máquina que, a partir de las bobinas de papel, permite la fabricación de planchas de cartón corrugado.

Esta operación, que se realiza de manera continua, depende del tipo de cartón corrugado ya sea simple o doble y comprende las siguientes fases:

- a. Formación de la onda de papel de ondular y encolado de esta con una cara, esto constituye el grupo “simple cara”

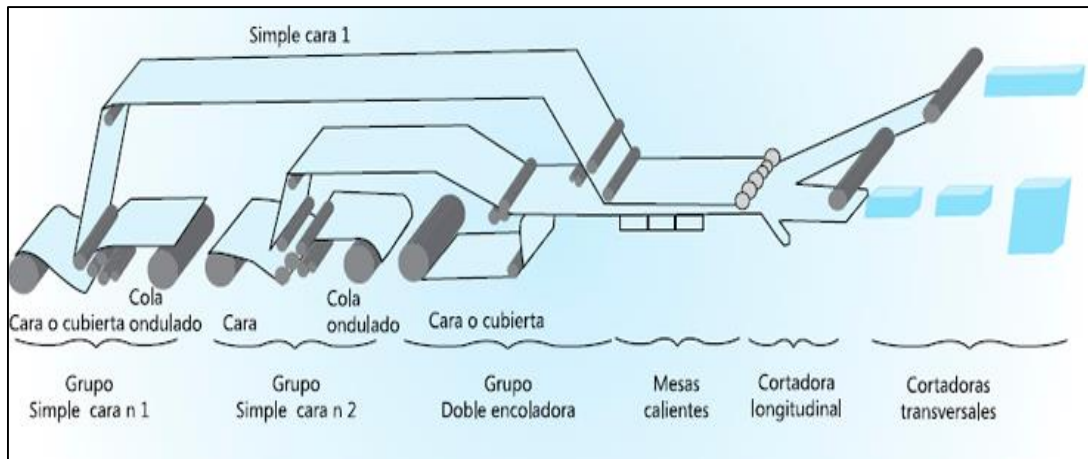


Figura 20. Vista general de Máquina Corrugadora

Fuente: Asociación de Corrugadores del Caribe (2017)



Figura 21. Vista general de Máquina Corrugadora

Fuente: Elaboración propia

Funciones:

- Transformar el papel liso en una sucesión de ondulaciones regulares y estables con el paso del tiempo, con la ayuda de una “matriz” tipo engranaje: los rodillos onduladores.
- Encolar las ondulaciones sobre una hoja lista para caras, para obtener una simple cara.

Fundamentos:

Es sabido que un material rígido y fibroso como las planchas de madera, las viguetas, etc., pueden tomar y conservar varias formas – cilíndrica, retorcida, enroscada – siempre y cuando estén previamente calentadas y humedecidas al vapor.

La formación de los canales del papel se basa sobre este principio de pre-acondicionamiento. La primera operación en la formación del ondulado, llamada “termoformación”, necesita:

- Energía mecánica para ejercer la presión.
- Energía térmica en forma de calor.

Se trata de trasladar al papel, en un lapso de tiempo muy corto –milésimas de segundo estos dos tipos de energías, cuya función consiste en ablandar las fibras que constituyen el papel, en particular la lignina después de moldear la onda y, finalmente, estabilizar el moldeado y darle rigidez. La aportación de humedad y una temperatura elevada de la plancha (alrededor de 180°C) favorecen dicho proceso.

- b. Encolado de la segunda cara con la simple cara que se hace en la doble encoladora.
- c. Solidificación de la unión de la segunda cara y secado del cartón, función de las mesas calientes.
- d. Transformación de una banda continua de cartón en planchas a través de:
Corte longitudinal y hendido de las solapas, en la cortadora/hendedora longitudinal o reversible y corte transversal en la cortadora del mismo nombre

Las partes de la máquina corrugadora son:

1. Portabobinas

Los portabobinas de papel alimentan ambos circuitos, uno por cada circuito. La función del portabobinas consiste en desarrollar la hoja de manera continua y regular, a una tensión constante.



Figura 22. Vista de portabobinas

Fuente: Elaboración propia

2. Empalmadoras (splicers)

Las corrugadoras modernas disponen de un sistema de empalme automático de las bobinas montadas en un portabobinas doble (1 splicer por grupo) que permite cambiar bobinas sin interrumpir ni disminuir significativamente la velocidad de la corrugadora.



Figura 23. Vista de empalmadores

Fuente: Elaboración propia

Características de las empalmadoras:

- Debe mantener la tensión del papel constante durante el proceso de desbobinado. (Arrugas y fallos de ondulado).
- Si hay variaciones de tensión durante el empalme se producirán importantes mermas (Cartón mal ondulado, despegado, cartón teja).
- Es importante utilizar cinta de empalme de buena calidad, debe soportar el paso por los pre-calentadores.

3. Humidificadores

Los humidificadores son aparatos fijos con orificios, a través de los cuales sale vapor de agua, para humedecer la hoja de papel. Permite regular la aportación de humedad al papel. Trabajan con bajas presiones de trabajo, deben estar alimentados con vapor a baja presión saturado. Es frecuente encontrarlos conectados a vapor vivo directo.



Figura 24. Vista de humidificadores

Fuente: Elaboración propia

4. Preacondicionador

El precalentador, normalmente va unido a un humidificador, permite regular la aportación de calor a la banda de papel. Es un cilindro rotativo liso, calentado en su interior con vapor (190°C aproximadamente), al que llega el papel de ondular para ser precalentado antes de entrar en los rodillos onduladores.



Figura 25. Vista de preacondicionador

Fuente: Elaboración propia

5. Rodillos onduladores

Son los encargados de conformar al médium mediante la aplicación de temperatura y presión al papel durante el tiempo que permanece entre ellos. Moldean, de manera continua, el papel liso y forman ondulaciones sucesivas y regulares; estas deben tener toda la misma altura y el mismo paso. Son dos cilindros entre los que pasa el papel, que se asemejan a engranajes “rectos”. Se calientan con vapor de agua (a una temperatura de 190°C) y ejercen una presión regulable (de 30 a 50 Kg. /cm. lineal). Los rodillos onduladores aseguran el moldeado del papel. El perfil de las ondas de éstos define el perfil del ondulado y, por consiguiente, el tipo de canal.

Los rodillos deben estar contruidos con aceros forjados y perfectamente estabilizados. Después de su formación se mantiene el canal contra el rodillo inferior mediante un dispositivo de aspiración o de presión de aire.

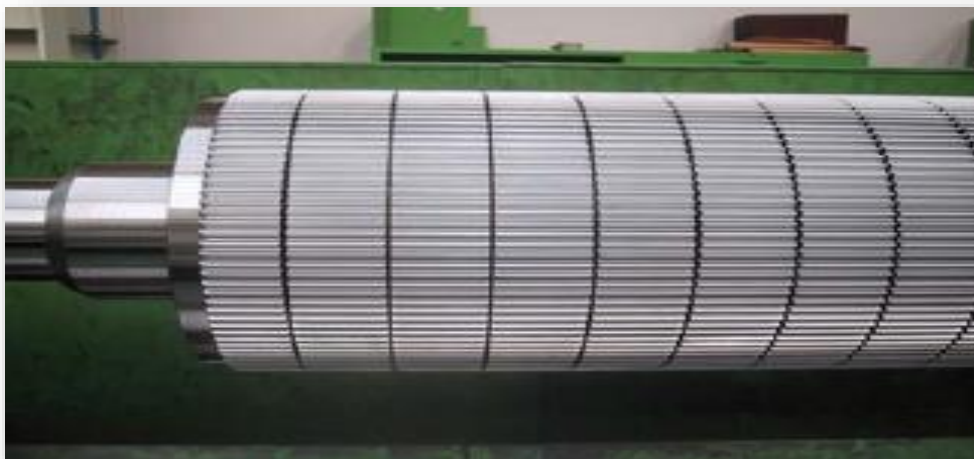


Figura 26. Vista de rodillos onduladores

Fuente: Elaboración propia

6. Encoladora

Deposita una cantidad determinada regularmente sobre las crestas de las ondulaciones. Normalmente está provista de un rodillo encolador liso que extiende la cola sobre crestas de los canales y un rodillo “doctor” que regula el espesor de la película de cola.

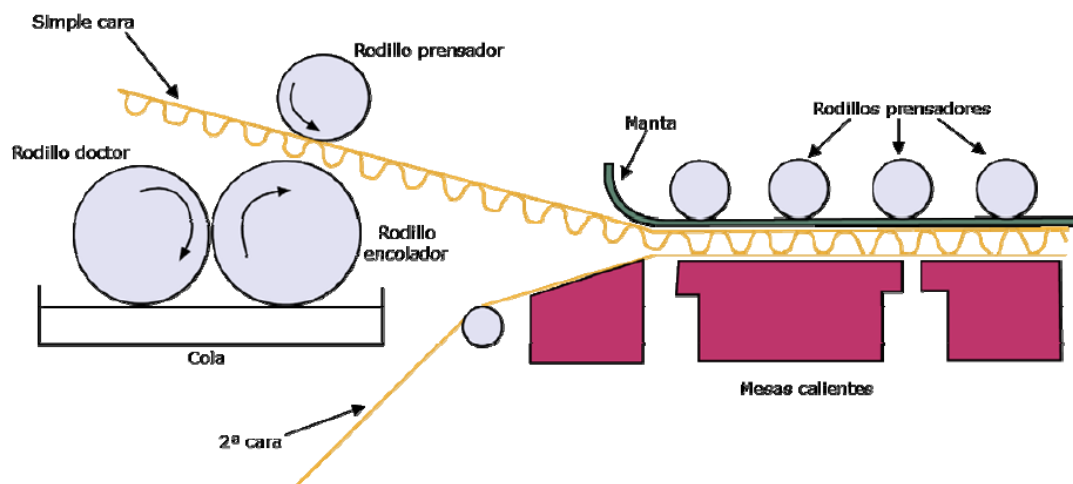
7. Puente almacenador

El último elemento en la cadena de fabricación de la simple-cara es el puente almacenador cuyas funciones son:

- Transportar el cartón.
- Almacenarlo temporalmente con el fin de conseguir el secado y la unión definitiva del encolado que aún está húmedo en esta fase.
- Constituir una reserva entre los grupos simple - cara y doble cara, ya que estos funcionan a distintas velocidades en el momento de cambiar de bobinas.

8. Doble engomadora

Asegura la unión del simple – cara con la segunda cara, encolando las crestas de los canales del simple-cara. El principio general del encolado aplicado al simple - cara, se repite para doble cara, pero hay variaciones.



ESQUEMA DE LOS ELEMENTOS COMPONENTES

Figura 27. Esquema de doble engomador

Fuente: AFCO (2010)

9. Mesas calientes

Máquina diseñada para aportar el calor y la presión necesaria para conseguir un buen pegado de las simples caras y liner exterior.

La gelatinización del almidón contenido en la cola, que es necesario para la unión definitiva de los componentes, se produce cuando el cartón entra, mediante una ligera presión en contacto con las mesas calientes, elementos planos, yuxtapuestos y calentados con vapor (de 120°C a 180°C)

A la salida de la mesa, una sección de tracción asegura el arrastre del cartón entre la manta secadora y una segunda manta.

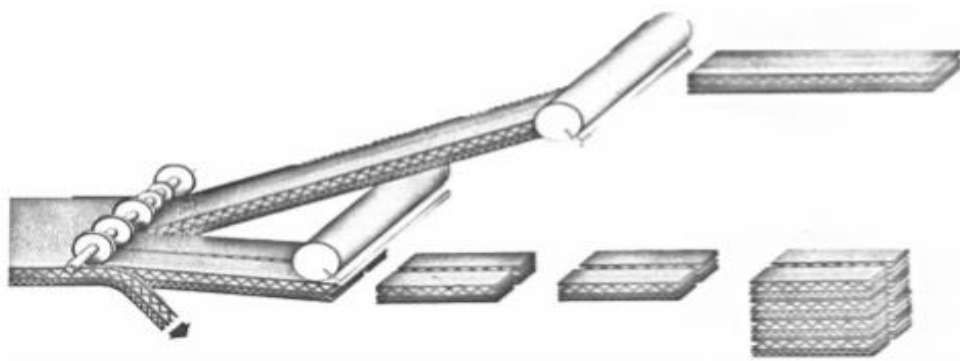


Figura 28. Esquema de mesas calientes

Fuente: AFCO (2010)

De la banda continua a la plancha de cartón ondulado:

Cuando el cartón sale de las mesas calientes, se presenta en forma de banda continua, que hay que transformar en planchas con unas medidas determinadas. La plancha de cartón es el elemento básico para la realización del embalaje final.



DE LA BANDA CONTINUA A LA PLANCHA DE CARTÓN:
CORTE Y RASURADO (LONGITUDINAL) – CORTE TRANSVERSAL

Figura 19. Esquema de corte longitudinal

Fuente: AFCO (2010)

Esta operación realizada en continuo en la onduladora tiene las siguientes etapas:

Corte y hendido longitudinal: Paralelo al sentido de la banda continua, es decir, perpendicular al sentido de los canales, corta la banda de cartón en 2, 3, 4, etc., bandas elementales de anchura reducida, además en este sector de la corrugadora se hacen los hendidos longitudinales en las planchas de cartón, se aplasta parcialmente el espesor del cartón, siguiendo una línea, para facilitar el posterior plegado de las solapas.



Figura 30 Esquema de corte longitudinal

Fuente: AFCO (2010)

Corte transversal: Perpendicular al sentido de arrastre de la banda continua y paralelo a los canales, al salir de la cortadora longitudinal, un dispositivo de selección introduce por separado las bandas elementales cortadas en el ancho deseado en una cortadora transversal, esta corta cada banda elemental en planchas en el largo deseado. El número de cortadoras determina el número máximo de bandas continuas, todas con la misma longitud de corte.

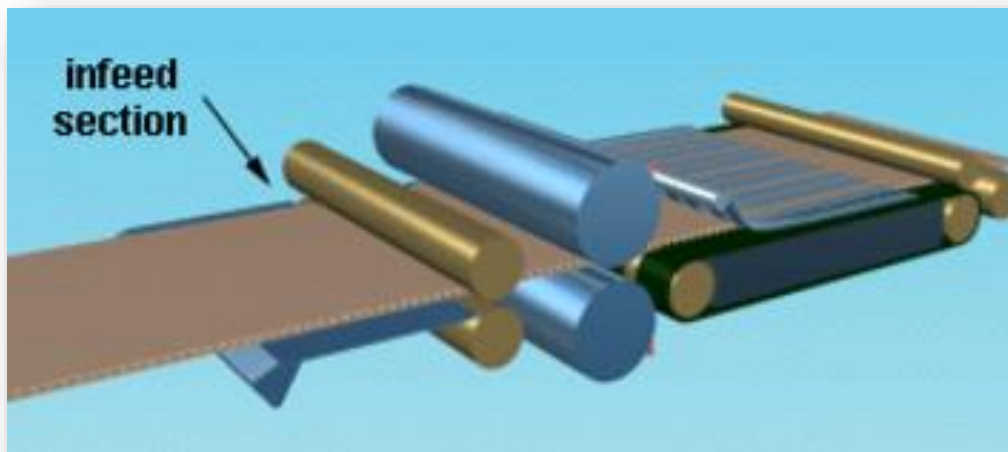


Figura 31 Esquema de corte transversal

Fuente: AFCO (2010)

Salida de las planchas: A cada cortadora transversal le corresponde un dispositivo de salida de planchas, una cinta transportadora las reagrupa por imbricación. La salida puede ser manual o automática, la segunda permite una salida más rápida de las planchas.

2.6.8 Adhesivo

Una mezcla de almidón corriente, modificado, bórax o ácido bórico, soda cáustica, agua, aditivos y resinas para resistencia a la humedad (éstos dos últimos en algunos casos) conforman el adhesivo.

El almidón corriente ha sido tradicionalmente el producto usado para la elaboración de adhesivos. Sin embargo, con la introducción de papeles de alto rendimiento y con el incremento en el uso de papel reciclado, la porosidad de los liners y ondas ha cambiado, consecuentemente el adhesivo ha debido cambiar. Hoy se usan almidones modificados como carriers, solo o en conjunto con almidón corriente y aditivos específicos en función de las necesidades.

Generalmente, se cocina entre un 10 a un 20% del almidón en una porción del agua para suministrar el carrier (vehículo de transporte) al resto del almidón, que va crudo o semi hinchado dependiendo del modo de preparación del adhesivo. Frecuentemente los niveles de sólidos del adhesivo son entre 26% a 30%.

La adición de soda cáustica permite regular la temperatura de gelificación del adhesivo y aumenta el tack del mismo. A mayor cantidad de soda cáustica menor es la temperatura de gelificación. Paralelamente al momento de depositar al adhesivo sobre el papel aumenta la velocidad de mojado de las fibras celulósicas.

La principal función del bórax o ácido bórico es establecer entrecruzamientos de cadenas del almidón cocinado para mejorar la capacidad de retención de agua, evitando que ésta penetre al papel antes de terminada la gelatinización en la línea de pegado. Adicionalmente, el bórax reacciona con el almidón crudo durante la gelatinización in situ aumentando la viscosidad fuertemente. Para conocer las cantidades equivalentes de bórax decahidratado, pentahidratado y ácido bórico para distintas formulaciones de adhesivo.

Actualmente existen diversos tipos de aditivos que buscan mejorar aspectos específicos del proceso tales como la penetración del adhesivo, el rendimiento de la corrugadora, menor aplicación de adhesivo, etc.

En los adhesivos para cajas que van destinadas a productos del sector hortofrutícola, flores, pescado y carnes entre otros, se agrega resina para resistencia a la humedad, esto permite mejorar la resistencia mecánica de la línea de adhesivo en ambientes de alta humedad e incluso con presencia de agua en estado líquido.

Finalmente el uso de antiespumantes es común en las corrugadoras modernas. A medida que aumenta la velocidad de operación se forma frecuentemente espuma en las bateas de adhesivo a medida que el almidón cae del rodillo dosificador.

Procesos, Sistemas y Equipamiento para Adhesivos.

Debido al importante rol que juega el adhesivo en el proceso de corrugado, se hace crítico el proceso de fabricación. Los procesos más comunes en la producción de adhesivos son: Stein-Hall con bajo y alto esfuerzo de corte y carrier – no carrier.

Stein-Hall de bajo esfuerzo de corte

Este sistema usa un proceso de dos fases. La primera fase es la cocción. Aquí se combinan agua, almidón, soda cáustica y vapor para crear una pasta de almidón gelatinizado. Este producto también se conoce como carrier. La segunda fase corresponde a un mezclado a bajas revoluciones. En el mezclador secundario se agregan almidón, agua y bórax y/o aditivos y resina. Luego la porción carrier es lentamente vaciada o bombeada al mezclador secundario. La mezcla constituye el adhesivo final.



Figura 32. Tanque principal de preparación de goma

Fuente: Elaboración propia



Figura 33. Equipo de preparación de adhesivo tipo primario – secundario (bajo esfuerzo de agitación)

Fuente: Elaboración propia

Stein Hall de alto esfuerzo de corte

Consiste en someter al adhesivo a un gran esfuerzo de corte de modo tal que la variación posterior de viscosidad en la máquina sea ínfima.

Para preparar el adhesivo se coloca parte del agua, después se agrega el almidón carrier y la soda cáustica; a continuación, se agita por un tiempo determinado, posteriormente se agrega el resto del agua, el bórax, aditivos y resina -si corresponde- y la porción cruda del almidón, finalmente se agita por un tiempo determinado para dispersar adecuadamente el almidón crudo.



Figura 34. Equipos de preparación de adhesivo de alto corte

Fuente: Elaboración propia

Carrier / no-carrier

En este proceso se cocina solo una parte del total del almidón carrier, la cocción se realiza en el estanque primario. Se coloca agua, almidón y toda la soda cáustica. En el estanque secundario se coloca el resto del agua y el almidón. A continuación, se deja caer lentamente la porción del estanque primario al secundario. La soda cáustica comienza a hinchar los gránulos de almidón crudo lo cual se traduce en un aumento de la viscosidad en forma paulatina. Una vez alcanzada la viscosidad deseada se agrega el ácido bórico, aditivos y resina si lo requiere. Finalmente se agita

2.6.8.1 Pruebas de Calidad del Adhesivo

1. Viscosidad

Se refiere al tiempo (en segundos) requerido para que el adhesivo fluya a través del orificio del viscosímetro Stein Hall. Se basa en la propiedad del fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se aplica una fuerza, en este caso la fuerza de la gravedad. Los fluidos de alta viscosidad presentan una cierta resistencia a fluir.

La fuerza con que una capa de fluido en movimiento arrastra consigo a las capas adyacentes de fluido determina su viscosidad, que se mide con un recipiente (viscosímetro) que tiene un orificio de tamaño conocido en el fondo. La velocidad con la que el fluido sale por el orificio es una medida de su viscosidad. La viscosidad de un fluido disminuye con la reducción de la densidad que tiene lugar al aumentar la temperatura.

Generalmente la viscosidad de los pegamentos es medida con una copa Stein Hall. El instrumento consiste en un tubo de 150 mm. De largo y 50 mm. De diámetro interno, unido con un platillo de acero inoxidable en la parte inferior que tiene un orificio de salida de 2.4 mm. De diámetro. Dos alambres de latón (alfileres) son colocados dentro del cuerpo del tubo de tal forma que el volumen entre ellos sea de 100 ml. El viscosímetro es calibrado para que 100 ml de agua a 20 °C pueda fluir a través del orificio en 15 segundos.

El viscosímetro es llenado con pegamento, luego el tiempo transcurrido para que 100 ml. De pegamento (el volumen entre dos alfileres) fluyan hacia fuera del tubo es medido en segundos. La viscosidad será entonces indicada en segundos.

Equipos e instrumentos

- Copa Stein Hall
- Cronómetro
- Termómetro
- Cernidor

Descripción del método

- Tomar las muestras en los siguientes puntos de control: Tanque de preparación de goma(Para cada batch preparado) y tanque de recepción de la goma de retorno en los cabezales como en el doble backer (cada dos horas)
- Temperar la copa Stein Hall con la goa del lugar donde se procederá a medir la viscosidad, llenar y vaciar la copa por lo menos, tres veces antes de realizar la prueba.
- Llenar la copa SteinHall con goma, empleando un cernidor para evitar la presencia de grumos que puedan afectar la lectura.
- Emplear un termómetro para controlar la temperatura de la goma antes de realizar la prueba de viscosidad
- Emplear un cronómetro para tomar el tiempo en segundos que demora en evacuar por el agujero ubicado en la base de la copa, desde la marca superior hasta la marca interior.
- Limpiar la copa luego de la medición

2. PAT (Pin adhesión Test)

Esta prueba se realiza constantemente durante el proceso de corrugado, debido a que es muy importante conocer los valores de adhesión que se están logrando cuando se está produciendo el material.

La prueba mide la fuerza de la adhesión existente entre los papeles liners y el papel medio. Consiste en la separación de los elementos del cartón mediante la aplicación de una fuerza perpendicular al plano del papel utilizando un dispositivo de peines. Se evalúa la unión de un liner específico del cartón por lo que la fuerza se aplica solo sobre el liner a ser evaluado.

Se introduce dos juegos de pasadores de metal entre las acanaladuras y las caras adheridas que se han de ensayar, con objeto de despegar, por medio de una armadura y un equipo compresor, un número determinado de líneas de adherencia, mediante la aplicación de una fuerza en dirección perpendicular a la superficie del cartón ondulado.

La existencia de una buena adhesión del cartón medio corrugado a los liners es importante para obtener cartón corrugado y cajas de alta calidad. La prueba para verificar la adhesión de los pines proporciona un medio para determinar la naturaleza y la resistencia de la unión formada durante la operación de corrugado y puede usarse para detectar ciertos defectos de fabricación como una deficiente penetración del adhesivo, una adhesión irregular y un cartón con una baja resistencia de unión interna.

Condiciones básicas:

- Acondicionar las muestras a una humedad relativa de 50+- 2% y temperatura de 23 +- 1 °C.

Materiales:

- Aditamento de adhesión de pines para onda C y B.
- Plancha de metal de 15x5 cm. Para onda C y 10x.2 cm. Para onda B.
- Cuchilla manual bien afilada.

Equipos e instrumentos.

- Presa crush- tester automático CT 1000/CT-2000
- Prensa Crush tester automática TLS CDM-5

Toma de muestras

La toma de muestras debe efectuarse en forma aleatoria durante toda la corrida y en todo el perfil de la orden de tal forma que la muestra obtenida sea representativa.

Con la ayuda de una cuchilla bien afilada y una plancha de metal se cortan las probetas de 15 cm. Para onda C y 10 cm. Para onda B en la dirección perpendicular a las acanaladuras y 5 Cm. Para onda C y 3.2 cm. Para onda B en la dirección paralela de las acanaladuras.

Debe efectuarse el muestreo cada hora en caso que el tiempo de fabricación de una orden sea mayor.

Cálculo y expresión de los resultados

Para registrar los resultados, calcular la fuerza máxima media (Expresada en Kgf) y dividir por 0.6 para onda C y 0.38 para onda B para expresar el resultado en Kgf/m.

Unidad reportada en equipo	Kgf	Onda "C"	Onda "B"
Longitud de onda evaluada (12 líneas)	Cm	60 cm.	38.4 cm
Factor	Factor dividir entre		
Para expresar resultado en	Kgf/m	0.6	0.38
Para expresar resultado en	KN/m	61.183	39.157
Conversiones usadas			
1	Kgf	0.00098	KN
60	Cm	0.6	M
38.4	cm	0.384	M
1	Kgf/ 60 cm.	61.193	KN/m
1	Kgf/m/ 38.4 cm.	39.1571	KN/m

Tabla 4. Tabla de conversión
Fuente: Reportes de empresa Trupal S.A.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN DE LA ESTADÍSTICA

3.1 Introducción

En este capítulo se aplicará mediante una secuencia propuesta, las técnicas estadísticas con las que se evaluó el comportamiento del proceso y facilitó la toma de decisiones en Trupal S.A.

Para cubrir esta práctica, se requirió principalmente de datos o información del momento e histórica. En un primer momento se muestran los resultados de la medición de merma generada por causa ya sea operativa o de máquina con la finalidad de encontrar la causa más influyente y que pueda corregirse desde el área de operaciones. Se identificó que la causa más influyente en este caso se trataba del defecto de plancha despegada.

La información disponible relacionada con este problema detectado era la viscosidad del adhesivo utilizado en el proceso de corrugado de cartón. La obtención de esta información se realizó con un equipo de medición llamado Copa Stein Hall el cual mide el tiempo de viscosidad. La estadística aplicada, fue dirigida a una de las variables del proceso y fue analizada utilizando las cartas de control, diagramas causa efecto y con un análisis de la capacidad del proceso.

DEFECTO	Kg.	%	% ACUMULADO
GUILLOTINA	12,496	29.66%	29.66%
DESPEGADOS	8,412	19.96%	49.62%
FALLA ELÉCTRICA	3,320	7.88%	57.50%
FALLA OPERATIVA	2,836	6.73%	64.24%
ARRANQUE DE MÁQUINA	2,764	6.56%	70.80%
AMPOLLADOS	2,640	6.27%	77.06%
COMBADOS	2,100	4.98%	82.05%
PUENTE	1,836	4.36%	86.40%
DESALINEADOS	1,600	3.80%	90.20%
FALLA MECÁNICA	1,480	3.51%	93.71%
SALDO ROLLO	1,450	3.44%	97.15%
PELADA ROLLO	1,200	2.85%	100.00%
<u>TOTAL</u>	42,134		

Tabla 5. Mermas del Mes de Enero

Fuente: Reportes de empresa Trupal S.A.

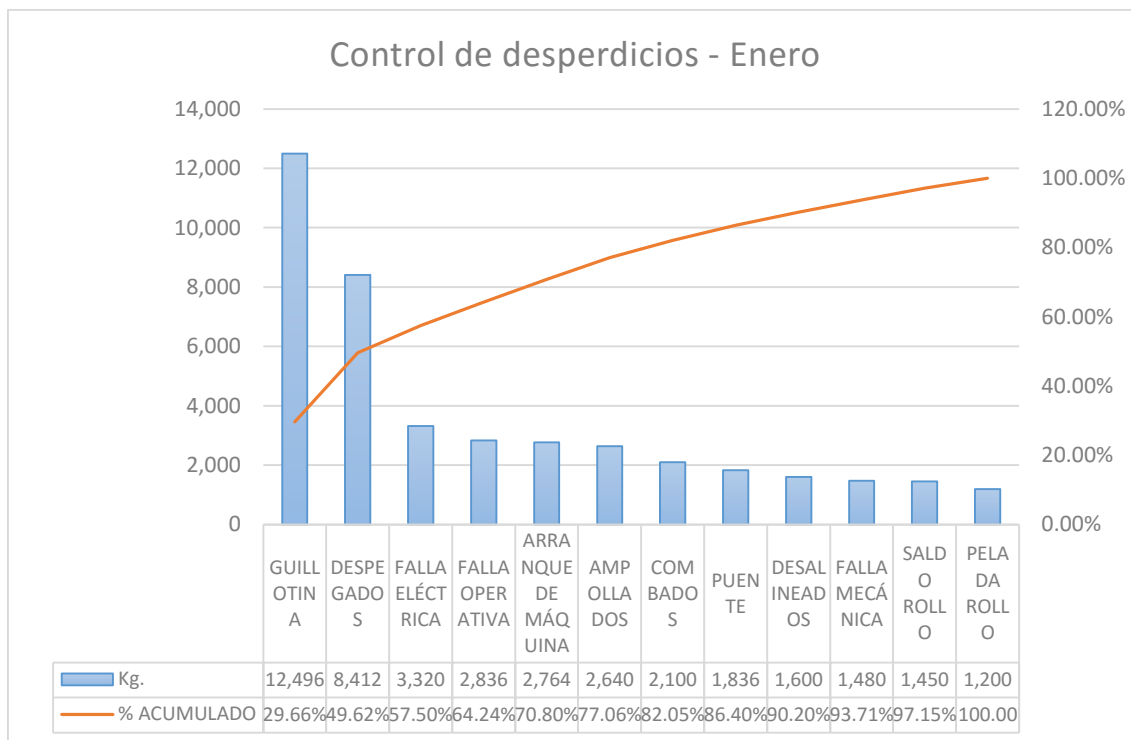


Figura 25. Control de Desperdicios- Enero

Elaboración Propia

En la gráfica de Pareto se detectaron las principales causas generadoras de desperdicio. Para fines de este informe se trabajó con los defectos de planchas generados por falta de control en la variable de viscosidad del adhesivo, las causas relacionadas con las siguientes: “despegados”, “guillotina” que es la sección de la máquina donde se descartan también planchas con diversos problemas, “ampollados”, “combados”, “puente” que representa el 65% del total de desperdicio generado en la planta.

3.2 Aplicación

PASO 1: SELECCIÓN DE LA VARIABLE A MEDIR

La variable a medir seleccionada, en una etapa vital del proceso, como es la fabricación de cartón corrugado fue: **Viscosidad del adhesivo (en segundos)**

¿Porque se determina esta variable?

En el proceso de fabricación de cartón corrugado hay distintas variables como son temperatura del adhesivo, humedad de bobina, temperatura de rodillos corrugadores, gramaje del papel a utilizar, etc. Se disponía de información de la variable: **viscosidad**

del adhesivo para el cartón corrugado, siendo esta variable muy importante ya que relaciona la calidad del producto en un tiempo definido.

PASO 2: REGISTRO DE DATOS

Esquema de muestreo o recolección del tiempo de viscosidad del adhesivo:

En primera instancia se requirió que el supervisor de corrugado coordinara con el operador responsable del proceso para la toma de los valores de la viscosidad del adhesivo mediante la copa Stein Hall. Esta toma de muestras se realizó cada 02 horas durante los 02 turnos de trabajo por 15 días consecutivos de producción.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Días de mes Enero (Subgrupos)																
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	15	16	17
8:00:00 a. m.	1	65		65	52	54	55		52	40	42	50	55	45	52	65
10:00:00 a. m.	2	59	44	58	54	52	53		55	45	50	52	45	45	50	42
12:00:00 p. m.	3	56	46	61	50	55	50	50	42	45	47	47	47	50	48	44
2:00:00 p. m.	4	52	48	53	55	63	58	52	46	50	45	56	48	48	42	46
4:00:00 p. m.	5	40	50	55	53	61	50	50	44	50	46	58		50		44
6:00:00 p. m.	6	58	55	53	48	50	52	56	48	58	55	55		50		50
8:00:00 p. m.	7	60	42	58	50	59	50	50	50	58	53	53				
10:00:00 p. m.	8	40	44			62	44	46	55							

Tabla 6. Recolección de Viscosidad del adhesivo

Elaboración Propia

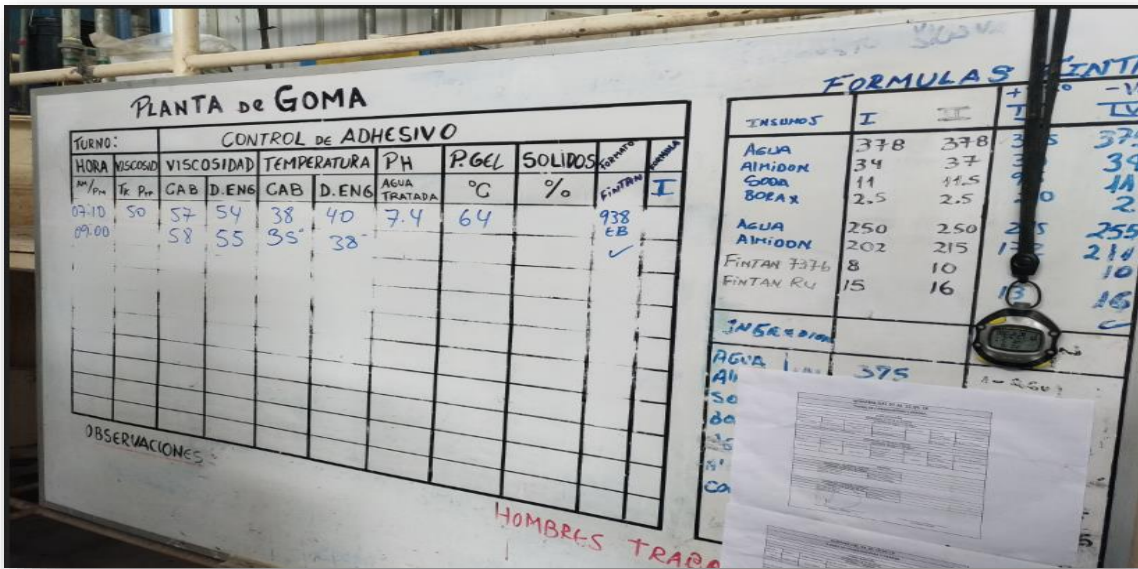


Figura 36. Pizarra en planta de goma para control diario de proceso.

Elaboración Propia

1. EVALUACIÓN DE LA R&R EN EL EQUIPO DE MEDICION

Durante el llenado y la recopilación de las mediciones se analizó la repetibilidad y reproducibilidad del equipo de medición, de la siguiente manera:

Con el método de Promedios y Rangos y con la siguiente información:

Se realizó con tres operadores de planta de goma, con un total de 7 observaciones (muestras) y evaluando 2 veces utilizando el mismo equipo de medición (Copa Stein Hall).

Se tienen los datos siguientes:

Ri: rango durante las mediciones para el operador 1, 2 y 3

	Operador 1			Operador 2			Operador 3			
Muestra	Medición 1	Medición2	R1	Medición1	Medición2	R2	Medición1	Medición2	R3	X bar
1	51	51	0	52	51	1	51	51	0	51.2
2	52	51	1	51	51	0	52	51	1	51.3
3	51	51	0	51	52	1	51	52	1	51.3
4	51	51	0	52	51	1	51	51	0	51.2
5	52	52	0	51	51	0	52	51	1	51.5
6	52	52	0	52	51	1	52	51	1	51.7
7	51	52	1	51	51	0	51	52	1	51.3
\bar{x}	51.4	51.4	0.3	51.4	51.1	0.6	51.4	51.3	0.7	0.5

Tabla 7. Datos de tres operadores de planta de goma

Elaboración Propia

Número de intentos por operador (m) = 2

Número de muestras (n) = 7

Número de operadores de a/t = 3

Diferencia $\bar{X} = 0.3$

$\bar{X}_{max} = 51.4$

$\bar{X}_{min} = 51.1$

La media de los rangos medios para cada operador es:

$$\bar{R} = \frac{1}{3}(\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \bar{R}_3) = \frac{1}{3}(0.28 + 0.57 + 0.71) = 0.52$$

α para 2 ensayos = 4.56

β para 3 operadores = 2.7

K3 para 7 muestras = 1.82

$$Porción R = X_{max} - X_{min} = 0.5$$

Repetibilidad: La variación del dispositivo de medición (DV) por un operador, en una sola parte.

$$DV = \bar{R} * \alpha = 0.52 * 4.56 = 2.38$$

Reproducibilidad: La variación en el promedio de las mediciones (AV) para cada operador, menos el error del calibrador es:

$$AV = \sqrt{(\bar{X}dif * \beta)^2 - \frac{DV^2}{m * n}} = 0.63$$

El componente de varianza para repetibilidad y reproducibilidad (R&R) es:

$$R\&R = \sqrt{DV^2 + AV^2} = 2.47$$

El componente de varianza por las partes PV es:

$$PV = Porción R * K3 = 0.5 * 1.82 = 0.91$$

La variación total TV es:

$$TV = \sqrt{R\&R^2 + PV^2} = 2.63$$

Precisión en relación a la variación total

$$\%R\&R = \frac{R\&R}{TV} * 100 = \frac{2.47}{2.63} * 100 = 93.8\%$$

El % de error esta entre el 10% (100-93.8= 6.2%) por lo que es aceptable la utilización del equipo de medición copa Stein Hall.

2. DETERMINACIÓN DE LA CARTA DE CONTROL A APLICAR

Después de tener la data de la viscosidad en el proceso durante los 15 días estipulados se procedió a seleccionar el tipo de carta de control a usar para este proceso. Como se mencionó en la teoría, hay 02 tipos de gráfico X-S y X-R, por la naturaleza del proceso el tipo de gráfico seleccionado es X-S porque:

- El tamaño de muestra es moderadamente grande (donde el rango pierde eficiencia por no tomar en cuenta valores intermedios).
- El tamaño de muestra es variable.

3. CALCULO DE \bar{X} Y S PARA CADA SUBGRUPO (MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR)

Una vez elegida la carta de control a usar se realizaron los cálculos matemáticos para encontrar las variables que nos permitieron la construcción de la gráfica:

Utilizando las siguientes fórmulas:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{y} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

		Días de mes Enero (Subgrupos)														
Hora	# de muestras	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	15	16	17
8:00:00 a. m.	1	65		65	52	54	55		52	40	42	50	55	45	52	65
10:00:00 a. m.	2	59	44	58	54	52	53		55	45	50	52	45	45	50	42
12:00:00 p. m.	3	56	46	61	50	55	50	50	42	45	47	47	47	50	48	44
2:00:00 p. m.	4	52	48	53	55	63	58	52	46	50	45	56	48	48	42	46
4:00:00 p. m.	5	40	50	55	53	61	50	50	44	50	46	58		50		44
6:00:00 p. m.	6	58	55	53	48	50	52	56	48	58	55	55		50		50
8:00:00 p. m.	7	60	42	58	50	59	50	50	50	58	53	53				
10:00:00 p. m.	8	40	44			62	44	46	55							
	Suma	430	329	403	362	456	412	304	392	346	338	371	195	288	192	291
	Núm. Datos	8	7	7	7	8	8	6	8	7	7	7	4	6	4	6
	Promedio	53.75	47	57.6	51.7	57	51.5	50.7	49	49	48	53	49	48	48	48.5
	Desv. Est.	9.2	4.4	4.4	2.5	4.9	4.1	3.3	4.9	6.8	4.6	3.7	4.3	2.4	4.3	8.5

Tabla 8. Toma de datos de viscosidad en el mes de Enero

Elaboración Propia

4. CALCULO DE $\bar{\bar{X}}$ Y \bar{S} (PARA MUESTRAS DE TAMAÑO VARIABLE)

Sí se calcula el promedio de n (número de datos en la muestra) el cual es variable con respecto a los días y subgrupos:

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^{nt} ni}{nt} = 7$$

Para nt = número total de subgrupos = 15

n = Número de muestras por día (variable para cada subgrupo)

Entonces, para poder utilizar el valor promedio de muestra \bar{n} en lugar de cada dato de n por subgrupo, con el fin de determinar las constantes y los límites de control, esta \bar{n} promedio debe estar dentro de $\pm 25\%$ de la n mínima y máxima.

Observando la tabla se tiene una n mínima = 4 y n máxima = 8

Por lo tanto $\bar{n} + 25\% = 8.3$ y $\bar{n} - 25\% = 5$

Los resultados están ligeramente excedidos, por lo que no hay problema de usar la \bar{n} (promedio) como la n (variable). Tomando las medias $\bar{\bar{X}}$ y la desviación estándar \bar{S} de la tabla se calcula lo siguiente:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m} = 50.81$$

$$\bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i = 4.8$$

CALCULO DE LOS LÍMITES DE CONTROL PARA LA GRÁFICA S

Hallar las constantes según el número de muestras promedio.

Para $n=7$ los valores de B_3 y B_4 son los siguientes:

$$B_3 = 0.118$$

$$B_4 = 1.882$$

$$LC_S = \bar{S} * B_4 = 9.0979$$

$$LC_I = \bar{S} * B_3 = 0.57$$

Construcción de gráfica S:

Desviación Estándar	LCS	LCI	\bar{S}
9.20	9.10	0.57	4.83
4.43	9.10	0.57	4.83
4.40	9.10	0.57	4.83
2.50	9.10	0.57	4.83
4.90	9.10	0.57	4.83
4.14	9.10	0.57	4.83
3.27	9.10	0.57	4.83
4.87	9.10	0.57	4.83
6.78	9.10	0.57	4.83
4.61	9.10	0.57	4.83
3.74	9.10	0.57	4.83
4.35	9.10	0.57	4.83
2.45	9.10	0.57	4.83
4.32	9.10	0.57	4.83
8.50	9.10	0.57	4.83

Tabla 9. Elaboración de gráfica S

Elaboración Propia

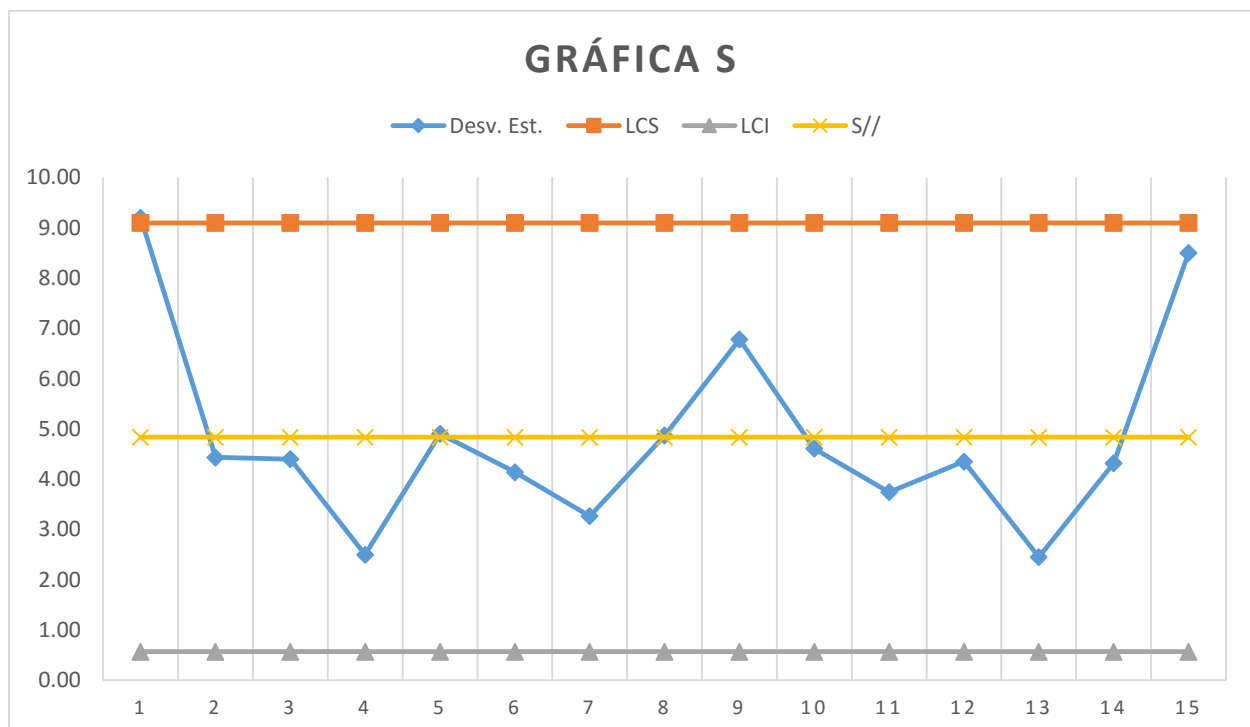


Figura 37. Gráfica S

Elaboración propia

Observaciones:

- Un punto fuera del límite superior
- Comportamiento errático
- 05 puntos consecutivos debajo de la línea central

Para gráfica X:

$$LSC_X = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S}$$

$$LSI_X = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S}$$

Donde para n=7 la constante $A_3 = 1.182$

$$LSC_X = 50.345 + 1.182 * 4.83 = 56.525$$

$$LSI_X = 50.345 - 1.182 * 4.83 = 45.165$$

Construcción de gráfica de medias:

\bar{X}	LSCx	LSIx	\bar{X}
55.38	56.53	45.1	50.34
47	56.53	45.1	50.34
57.57	56.53	45.1	50.34
51.71	56.53	45.1	50.34
57	56.53	45.1	50.34
51.5	56.53	45.1	50.34
50.67	56.53	45.1	50.34
49	56.53	45.1	50.34
49.43	56.53	45.1	50.34
48.29	56.53	45.1	50.34
53	56.53	45.1	50.34
48.75	56.53	45.1	50.34
48	56.53	45.1	50.34
48	56.53	45.1	50.34
46.17	56.53	45.1	50.34

Tabla 8. Elaboración de Gráfica X

Elaboración Propia

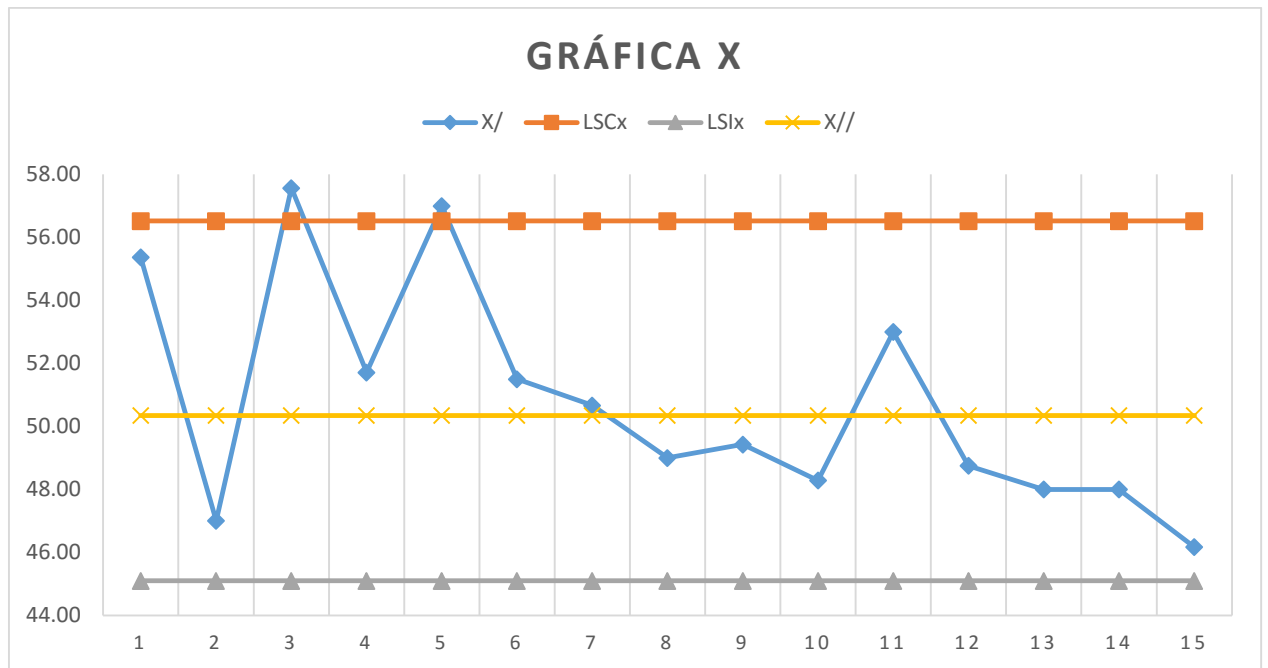


Figura 38. Gráfica X

Elaboración Propia

Observaciones de gráfica X:

- Comportamiento errático
- 05 puntos consecutivos sobre la línea central
- 05 puntos consecutivos con tendencia descendente
- Existen 02 puntos fuera de los límites de control

Analizando las observaciones realizadas se concluyó que ambas gráficas, tanto X como S se encontraban fuera de control.

5. CONSTRUCCIÓN DE DIAGRAMA DE ISHIKAWA

Una vez que se tuvo la certeza de que el proceso no estaba estadísticamente controlado se realizó un análisis causa – efecto (Ishikawa) para encontrar las principales causas del descontrol, este análisis se llevó a cabo en una reunión donde participaron:

- Superintendente de planta
- Operador de planta de adhesivo
- Supervisor de corrugadora
- Coordinador de producción

Se realizó la lluvia de ideas determinando cada factor causal que estaba involucrado sobre el punto de falla y estos fueron: mano de obra, métodos, máquina y materiales. El resultado fue el siguiente diagrama de Ishikawa:

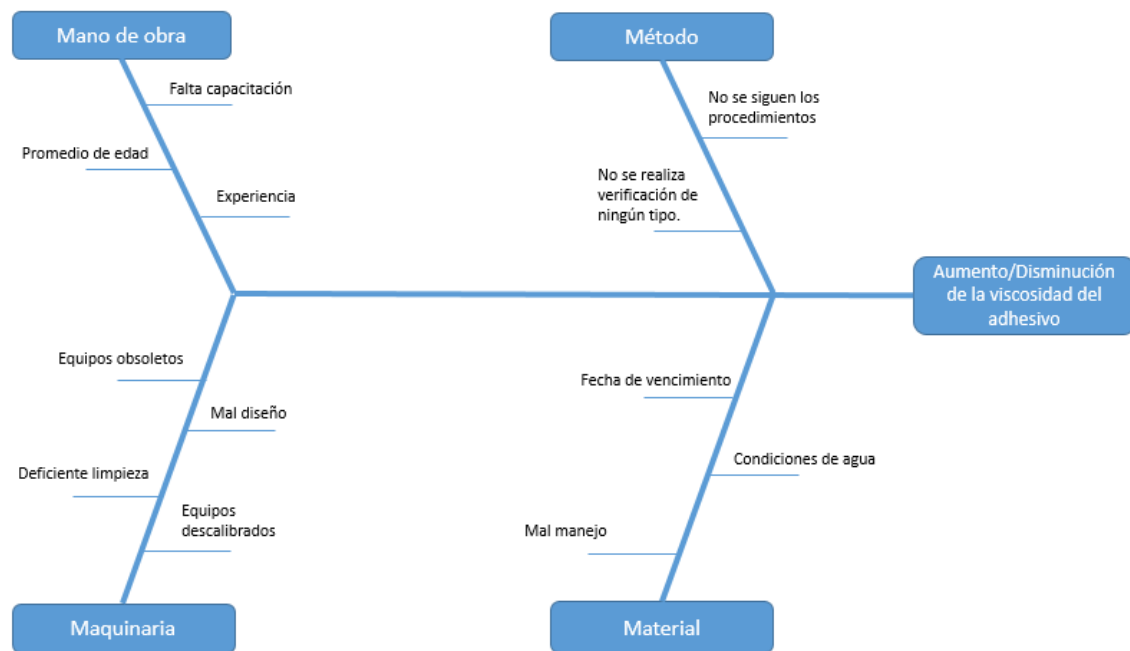


Figura 39. Diagrama de Ishikawa

Elaboración Propia

Se analizaron las causas verificando aquellas que tenían mayor incidencia sobre el problema y se determinaron que aquellas causas eran:

Equipos descalibrados: No se tenía un plan de calibración de instrumentos. En este caso se trataba de la balanza usada para aplicar los materiales para el adhesivo según fórmula, al estar descalibrada las cantidades suministradas no eran las correctas generando que la viscosidad del adhesivo aumentara o disminuyera más de la cuenta.

Equipos sucios y/o obsoletos: No existía un plan de mantenimiento semanal para la planta de adhesivo por lo que todo mantenimiento realizado era correctivo, generando deficiencias en el funcionamiento de la máquina, sobre todo en los agitadores usados en el tanque de fabricación de adhesivo. Además, al no tener un plan de mantenimiento preventivo no se realizaba limpieza a la máquina por lo cual también se tenía problemas con el funcionamiento de diversas partes.

Experiencia de mano de obra: Existía una gran rotación de personal en el área de planta de adhesivo, generando que por lo general el personal que operaba en esta planta no contara con el bagaje suficiente para controlar el proceso ante alguna circunstancia fortuita. Además de la inexperiencia no se contaba con un plan de capacitaciones para el personal porque se pensaba que no era necesaria para esta área, lo que ocasionaba contar con personal inexperto y sin un plan de capacitación.

Propuestas de mejora:

Para las 03 causas que el grupo de análisis formó se aplicaron las siguientes propuestas de mejora:

1. Calibración de los instrumentos de medición (balanza y copa Stein Hall) una vez a la semana como método de trabajo, la calibración se llevaría a cabo con los operadores y una vez finalizado el personal de calidad verificaría el trabajo.

El procedimiento acordado para la calibración de la copa Stein Hall fue la siguiente:

- a) Se debe realizar la calibración con agua a una temperatura de 24°C.
- b) La actividad consiste en medir el tiempo, en segundos, que tarda en bajar el nivel del agua temperada a 24 grados entre los 02 pines que se aprecian en la foto

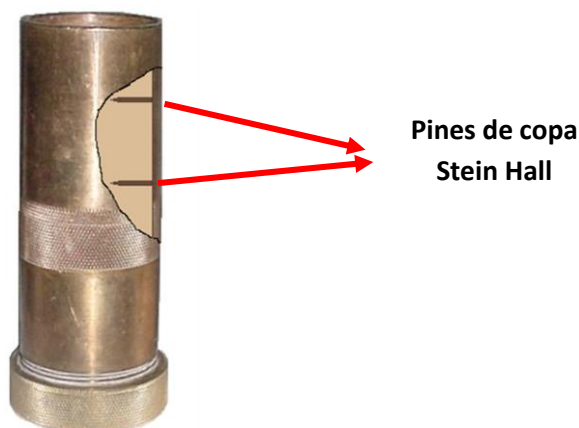


Figura 40. Copa Stein Hall

Elaboración Propia

- c) Esta medición se realizará 03 veces
- d) Si el resultado obtenido es de 15 ± 0.5 segundos entonces se considera que la copa se encuentra calibrada.
- e) Si el resultado está fuera de los límites especificados entonces puede indicar una obstrucción o ampliación del orificio o bien, los vástagos pudieron haberse doblado. Una vez realizados los ajustes debe revisarse nuevamente según el procedimiento, si el resultado no cambia entonces se procede a cambiar el disco inferior.

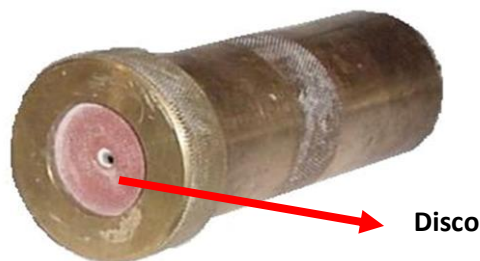


Figura 41. Disco de Copa Stein Hall

Elaboración Propia

2. Se realizó un plan de mantenimiento preventivo, que consideraba tanto intervenciones por parte del área de mantenimiento, calibraciones de instrumentos por los operadores y limpieza de herramientas y equipos de la planta para ejecutarlo diariamente, semanal o mensualmente según se considere necesario con la finalidad de realizar la limpieza a los equipos y reparar o cambiar piezas que nos generaría problemas futuros.

Actividad	Encargado	Frecuencia
Calibración de copa Stain Hall	Operador/Calidad	Semanal
Calibración de Phmetro	Operador/Calidad	Semanal
Calibración de refractómetro	Operador/Calidad	Semanal
Revisión de térmicos y tableros	Técnico eléctrico	Semanal
Calibración de balanza de preparación	Técnico eléctrico	Semanal
Mantenimiento de bombas	Técnico mecánico	Quincenal
Mantenimiento de tuberías y check	Operador	Mensual
Revisión de unidades de mantenimiento (reguladores de presión)	Técnico mecánico	Mensual
Limpieza de tanques de goma	Operador	Semanal
Limpieza de líneas de transporte del adhesivo	Operador	Quincenal
Revisión de filtros de bombas	Operador	Mensual
Revisión de mangueras y conectores de aire	Operador	Mensual
Revisión de válvulas de aire, agua y adhesivo	Operador	Mensual
Limpieza de canaletas	Operador	Semanal
Validación de formulación del adhesivo	Operador	Diario

Tabla 11. Actividades a desarrollar como mantenimiento autónomo y preventivo

Elaboración propia

			AÑO : 2017											
			S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Calibración de copa STAIN HALL	Calidad	Semanal												
Calibración de PHMETRO	Calidad	Semanal												
Calibración de REFRACTÓMETRO	Calidad	Semanal												
Revisión de tableros y térmicos	Eléctrico	Semanal												
Calibración de balanza de preparación	Eléctrico	Semanal												
Mantenimiento de bombas	Mecánico	Quincenal												
Mantenimiento de tuberías y chep	Operador	Mensual												
Revisión de unidades de mantenimiento (reguladores de presión)	Mecánico	Mensual												
Limpieza de tanques de goma	Operador	Semanal												
Limpieza de líneas de transportes del adhesivo	Operador	Quincenal												
Revisión de filtros de bombas	Operador	Mensual												
Revisión de mangueras y conectores de aire	Operador	Mensual												
Revisión de válvulas de aire, agua, adhesivo	Operador	Mensual												
Limpieza de canaletas	Operador	Semanal												
Validación de formulación del adhesivo	Operador	Diario												
Inventario de insumos de adhesivo	Operador	Quincenal												

NEG

Figura 42. Tabla de control para seguimiento a actividades

Elaboración propia

- Se designó a 03 operadores que se encargarían de forma perenne del área de planta de adhesivo para evitar la excesiva rotación. En conjunto con los 03 operadores se realizaban capacitaciones semanales dirigidas por el superintendente de planta, la persona con mayor conocimiento del área. Con esta medida se buscaba que estas 3 personas sean las que tengan la experiencia en el área y puedan afrontar cualquier inconveniente que se presentara a futuro.

Se acordó con los representantes de INGREDION (proveedores del almidón) realizarían una visita mensual para realizar una inspección a la planta de adhesivo y además realizar una capacitación de 2 horas al personal de planta, con la finalidad de mantenerlos actualizados en las nuevas tendencias de fabricación.

3.3 Medición de resultados después de implementación de resultados

Después de haber implementado estas mejoras se tomó como referencia los primeros 15 días del mes de abril para medir la eficacia de lo implementando, para lo cual se procedió a medir los valores de la viscosidad dando como resultado la siguiente tabla:

Hora	# de muestras	Días de mes Enero (Subgrupos)														
		1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	15	16	17
8:00:00 a. m.	1	58	50	48	52	50	53	56	47	55	48	47	56	58	48	46
10:00:00 a. m.	2	58	50	50	50	48	50	52	45	45	50	51	50	55	50	45
12:00:00 p. m.	3	50	59	55	50	50	58	52	50	51	52	50	51	50	52	45
2:00:00 p. m.	4	53	56	58	55	52	50	55	52	48	50	56	51	46	50	50
4:00:00 p. m.	5	55	52	58	53	50	52	56	50	51	48	53	56	58	56	52
6:00:00 p. m.	6	52	50	55	54	56	55	58	56	49	42	50	58	55	58	50
8:00:00 p. m.	7	51	51	53	52	50	57	51	50	45	50	55	54	50	42	50
10:00:00 p. m.	8	55	51	55	55	55	49	50	50	50	51	54	50	46	50	55
	Suma	432	419	432	421	411	424	430	400	394	391	416	426	418	406	393
	Núm. Datos	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	Promedio	54.0	52.4	54.0	52.6	51.4	53.0	53.8	50.0	49.3	48.9	52.0	53.3	52.3	50.8	49.1
	Desv. Est.	3.0	3.3	3.5	2.0	2.8	3.4	2.9	3.3	3.3	3.1	3.0	3.2	4.9	4.9	3.6

Tabla 12. Valores de Viscosidad - Abril

Elaboración Propia

El número de muestras promedio es de 8.

Promedio de las medias de los subgrupos:

$$\bar{\bar{X}} = 51.775$$

Promedio de las desviaciones estándar de los subgrupos:

$$\bar{S} = 3.3$$

Hallamos las constantes B3 y B4 para n=8:

$$B_3 = 0.185$$

$$B_4 = 1.815$$

Con estos valores encontramos LC_I y LC_S

$$LC_S = \bar{S} * B_4 = 6.067$$

$$LC_I = \bar{S} * B_3 = 0.618$$

Construcción de la gráfica S:

Desv. Est.	LCSs	LCIs	S/
3.02	6.07	0.62	3.34
3.34	6.07	0.62	3.34
3.55	6.07	0.62	3.34
2.00	6.07	0.62	3.34
2.77	6.07	0.62	3.34
3.38	6.07	0.62	3.34
2.87	6.07	0.62	3.34
3.25	6.07	0.62	3.34
3.33	6.07	0.62	3.34
3.09	6.07	0.62	3.34
3.02	6.07	0.62	3.34
3.15	6.07	0.62	3.34
4.92	6.07	0.62	3.34
4.89	6.07	0.62	3.34
3.56	6.07	0.62	3.34

Tabla 13. Elaboración de Gráfica S

Elaboración Propia

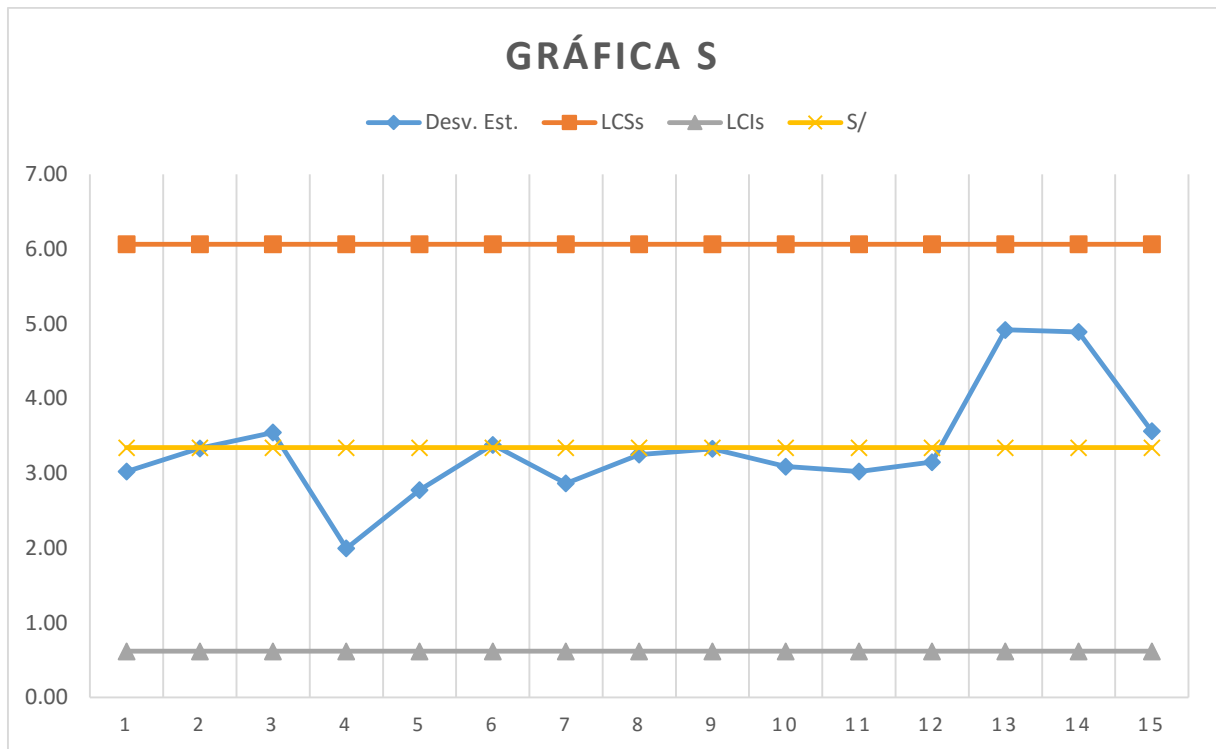


Figura 43. Gráfica S

Elaboración Propia

Para gráfica X:

Para n=8 el valor de la constante será:

$$LSC_X = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S}$$

$$LSI_X = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S}$$

Donde para n=7 la constante $A_3 = 1.009$

$$LSC_X = 51.775 + 1.009 * 3.3 = 55.148$$

$$LSI_X = 51.775 - 1.009 * 3.3 = 48.402$$

Construcción de gráfica X:

Promedio	LCSx	LCIx	X//
54.00	55.15	48.40	51.78
52.38	55.15	48.40	51.78
54.00	55.15	48.40	51.78
52.63	55.15	48.40	51.78
51.38	55.15	48.40	51.78
53.00	55.15	48.40	51.78
53.75	55.15	48.40	51.78
50.00	55.15	48.40	51.78
49.25	55.15	48.40	51.78
48.88	55.15	48.40	51.78
52.00	55.15	48.40	51.78
53.25	55.15	48.40	51.78
52.25	55.15	48.40	51.78
50.75	55.15	48.40	51.78
49.13	55.15	48.40	51.78

Tabla 14. Elaboración Gráfica X

Elaboración Propia

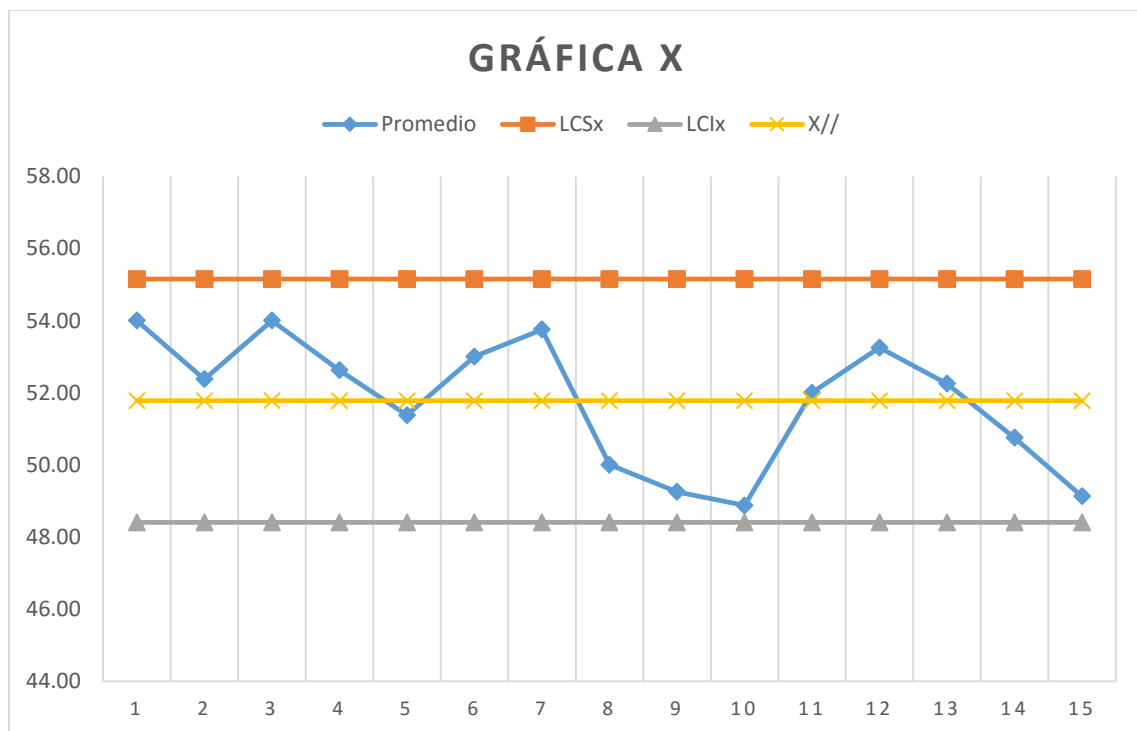


Figura 44. Gráfica X

Elaboración Propia

Basado en las cartas de control obtenidas después de implementar las mejoras durante los meses de febrero y marzo se observó que no había puntos fuera de los límites de control ni tendencias, por lo que se podía concluir que el proceso tanto en las medias (X) como en las desviaciones estándar (S) estaba controlado y estable.

Cuando logramos controlar el proceso fue necesario extender dichos límites para cubrir los futuros periodos.

Estos límites serían usados como referencia para los controles continuos del proceso, todo esto con el objetivo de que los supervisores y operadores tomen acciones ante cualquier indicación de falta de control de la gráfica X-S.

Identificamos los eventos que podían ser rechazados en el proceso

1. Con el valor de μ y σ estimado, el cálculo del porcentaje de piezas dentro de especificación se realiza con los siguientes datos.

$$\mu' = \bar{X} \quad \sigma' = \frac{\bar{S}}{C_4}$$

- 99.73% de piezas o datos dentro de especificación para $\pm 3 \sigma$
- 99.994% de piezas dentro de especificación para $\pm 4 \sigma$

μ'	O'	\bar{S}	C4	LSE	LIE	n
51.775	3.464	3.3	0.965	65	40	8

Para n=8 el valor de C4 es 0.965 (ver tabla)

$$Z_s = \frac{LSE - \mu'}{\sigma'} \quad Z_i = \frac{LIE - \mu'}{\sigma'}$$

$$Z_s = \frac{65 - 51.775}{3.464} = 3.81$$

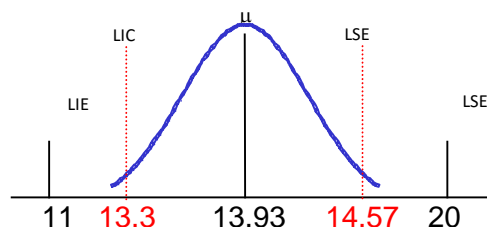
$$Z_i = \frac{40 - 51.775}{3.464} = -3.40$$

2. Calcular el área de la curva normal entre Z_s y Z_i , obteniéndose el resultado siguiente:

$$Z_s: 0.9998$$

$$Z_i: P = 0.0003$$

El porcentaje encontrado representa el porcentaje de piezas o datos dentro de especificación, y cual es = 99.98% de datos dentro de los límites de especificación, y un 0.03 % de datos fuera de especificación.



3.3.1 Capacidad potencial del proceso

Hallamos esta capacidad potencial del proceso para saber si el proceso de fabricación de adhesivo era capaz de satisfacer los requerimientos y especificaciones del producto, comparando la variación natural del mismo.

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6 \times \sigma'}$$

μ'	σ'	\bar{S}	C4	LSE	LIE	n
51.775	3.464	3.3	0.965	65	40	8

Con los siguientes datos obtuvimos:

$$Cp = \frac{65 - 40}{6 \times 3.464} = 1.203$$

El valor obtenido se encuentra entre 1 y 1.33 por lo tanto se trataba de un proceso clase 2, adecuado para el trabajo, pero requiere de un control estricto conforme el Cp se acerque a uno.

Valor del Cp.	Clave de proceso	Decisión
Cp.>2	Clase mundial	Tiene clase seis sigma
1.33 ≤ Cp.≤ 2	1	Más que adecuado
1 ≤ Cp.≤ 1.33	2	Adecuado para el trabajo, pero requiere de un control estricto conforme el Cp. Se acerca a uno

$0.67 \leq C_p \leq 1$	3	No adecuado para el trabajo. Un análisis del proceso es necesario. Requiere modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p \leq 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones serias

**Tabla 15. Interpretación cualitativa del índice C_p .
Elaboración Propia**

Con el dato de la capacidad potencial obtenido se halló el resultado de la capacidad real del proceso. Si un proceso es potencialmente hábil no necesariamente es realmente hábil, por lo que hallamos CP_k .

$$CP_k = CP \times (1 - K)$$

$$K = \frac{2D}{LSE - LIE}$$

$$D = \left| M - \bar{\bar{X}} \right|$$

$$M = PROM.(LSE, LIE)$$

Datos:

X prom.	LSE	LIE
51.775	65	40

$$M = PROM.(65, 40) = 52.5$$

$$D = 52.5 - 51.775 = 0.725$$

$$K = \frac{2 \times 0.725}{(65 - 40)} = 0.058$$

$$CP_k = 1.203 \times (1 - 0.058) = 1.133$$

- El valor de CP_k está entre los valores 1 y 1.33 por lo que el proceso es realmente hábil.
- $CP > CP_k$ por lo que se concluye que el proceso no está centrado.

3.3.2 Análisis de los factores que afectan el proceso

Cuando se detectan causas especiales o asignables, o en el caso en que la capacidad del proceso real o potencial esta fuera de los criterios definidos, se tiene que buscar aquellas causas que provocan la No habilidad, mediante la utilización de alguna de las herramientas:

- **Se observó que el índice Cpk es menor al índice Cp por lo que el proceso no está centrado.**

Observando los resultados en el que se presenta un proceso no centrado y a fin de centrar el proceso, se toma el valor de la media de especificaciones igual al de la media del proceso.

M = Media de especificaciones = $\bar{\bar{X}}$ (media del proceso)

Con este dato, el objetivo del cálculo era centrar el proceso, ya que al utilizar la media de especificación igual a la media del proceso se obtiene el índice Cpk igual al índice Cp, ya que también con esta igualdad, el proceso es hábil para cumplir con las especificaciones del cliente, tanto potencialmente como real. Esto se comprueba de la siguiente manera:

$$M = PROM. (LSE, LIE)$$

$$M = PROM. (65, 40) = 52.5$$

D = Diferencia de la media del proceso y la media de especificación, si $\bar{\bar{X}} = M$.

$$D = |M - \bar{\bar{X}}|$$

$$D = 52.5 - 52.5 = 0$$

Entonces

$$K = \frac{2D}{LSE - LIE}$$

$$K = \frac{2 \times 0}{(65 - 40)} = 0$$

Por lo tanto

$$CPk = 1.203 \times (1 - 0) = 1.203$$

Cpk = Cp > 1, por lo tanto el proceso es **hábil para cumplir** con las especificaciones del cliente y además está centrado.

Una vez que controlamos la variable viscosidad en el proceso de fabricación del adhesivo procedimos a corroborar qué tan útil había resultado para el proceso del cartón, si habían mejorado los resultados del PAT (pegado del cartón) y consecuentemente si habíamos logrado el objetivo principal de disminuir el porcentaje de desperdicio generado por este defecto.

A continuación, los resultados obtenidos de PAT tanto en el mes de enero como el mes de mayo, como se ha mencionado este indicador nos revelará el buen pegado o en su caso contrario el pegado defectuoso:

Día	PAT Enero	PAT Abril	LS	LI
1	75	77	90	70
2	76	81	90	70
3	64	78	90	70
4	80	84	90	70
5	68	83	90	70
6	81	75	90	70
7	84	81	90	70
8	83	80	90	70
9	84	81	90	70
10	80	81	90	70
11	77	77	90	70
12	82	86	90	70
13	72	83	90	70
14	74	82	90	70
15	71	79	90	70

Tabla 16. Cuadro Comparativo de PAT (Enero- Abril)

Elaboración propia

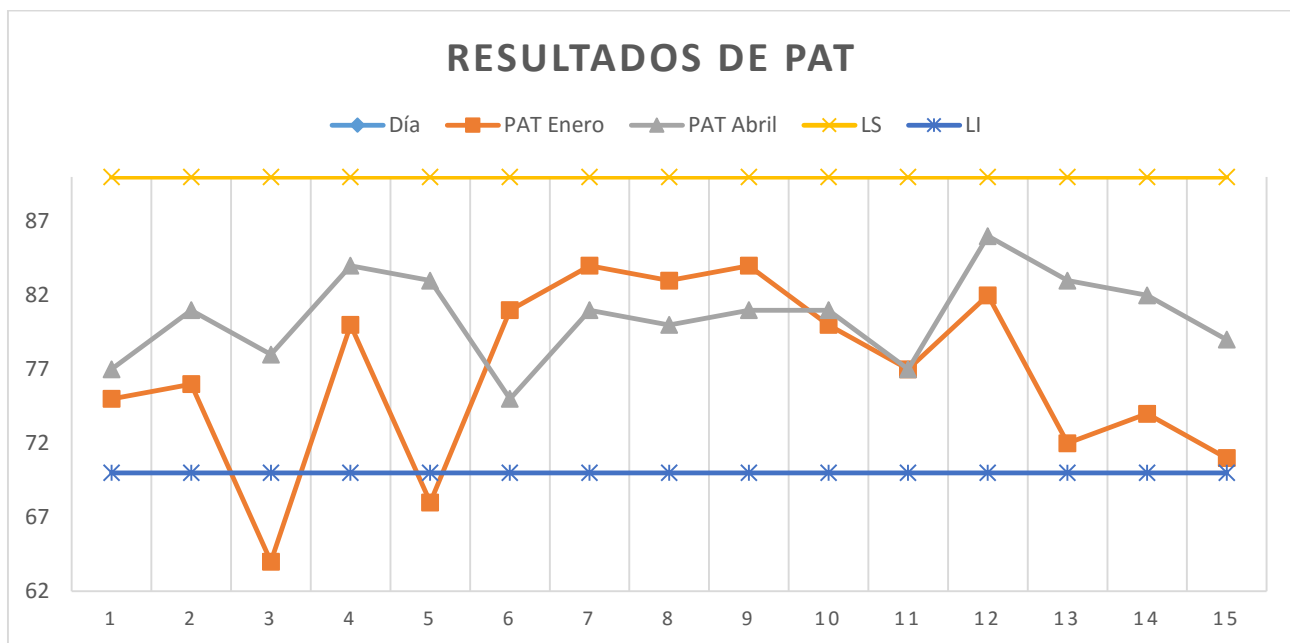


Figura 45. Resultados de PAT

Elaboración propia

En el gráfico logramos visualizar que la línea del mes de enero se encontraba con valores fuera de especificación y también otros tantos que se encontraban justo en el límite inferior, esto era lo que provocaba que la capacidad de pegado del cartón sea deficiente y se revele en los altos índice de desperdicio por esta causa.

Los resultados obtenidos luego de la aplicación del control de proceso fueron muy positivos, la totalidad de mediciones se encontraron dentro de los límites de especificación, por lo tanto las acciones tomadas para la mejora del proceso fueron correctas y nos dieron los resultados esperados, estos resultados de PAT dentro de las especificaciones debían también relacionarse con una disminución de desperdicio por causa del cartón despegado o con pegado débil.

A continuación los resultados de desperdicio del mes de Enero comparando con el mes de Abril:

Resultados del mes de Enero:

DEFECTO	Kg.	%	% ACUMULADO
GUILLOTINA	12,496	29.66%	29.66%
DESPEGADOS	8,412	19.96%	49.62%
FALLA ELÉCTRICA	3,320	7.88%	57.50%
FALLA OPERATIVA	2,836	6.73%	64.24%
ARRANQUE DE MÁQUINA	2,764	6.56%	70.80%
AMPOLLADOS	2,640	6.27%	77.06%
COMBADOS	2,100	4.98%	82.05%
PUENTE	1,836	4.36%	86.40%
DESALINEADOS	1,600	3.80%	90.20%
FALLA MECÁNICA	1,480	3.51%	93.71%
SALDO ROLLO	1,450	3.44%	97.15%
PELADA ROLLO	1,200	2.85%	100.00%
TOTAL	42,134		

Tabla 17. Desperdicio del mes Enero

Elaboración propia

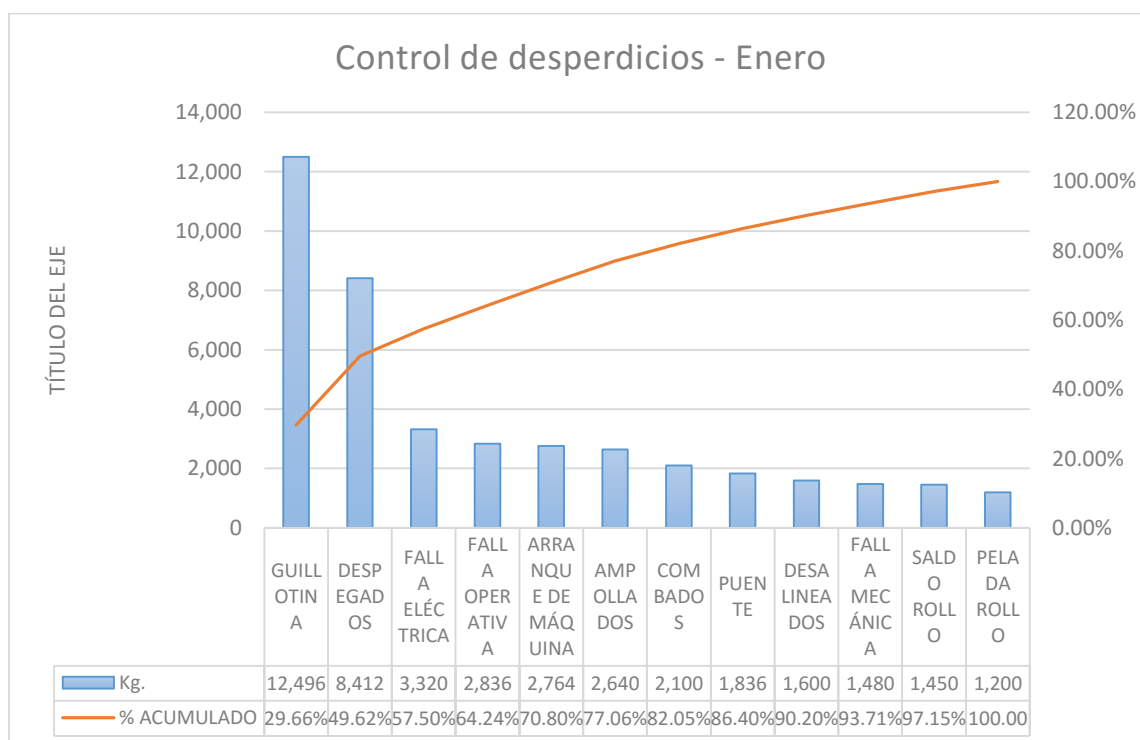


Figura 46. Control de Desperdicios Enero

Elaboración propia

Resultados del mes de Abril:

DEFECTO	Kg.	%	% ACUMULADO
GUILLOTINA	5,920	20.68%	20.68%
FALLA OPERATIVA	4,978	17.39%	38.08%
DESPEGADOS	2,320	8.11%	46.18%
ARRANQUE DE MÁQUINA	3,124	10.92%	57.10%
FALLA ELÉCTRICA	2,150	7.51%	64.61%
PUENTE	1,923	6.72%	71.33%
DESALINEADOS	1,923	6.72%	78.05%
COMBADOS	1,670	5.83%	83.88%
SALDO ROLLO	1,432	5.00%	88.89%
AMPOLLADOS	1,232	4.30%	93.19%
FALLA MECÁNICA	1,123	3.92%	97.11%
PELADA ROLLO	826	2.89%	100.00%
TOTAL	28,621		

Tabla 18. Desperdicio del mes de Abril

Elaboración propia

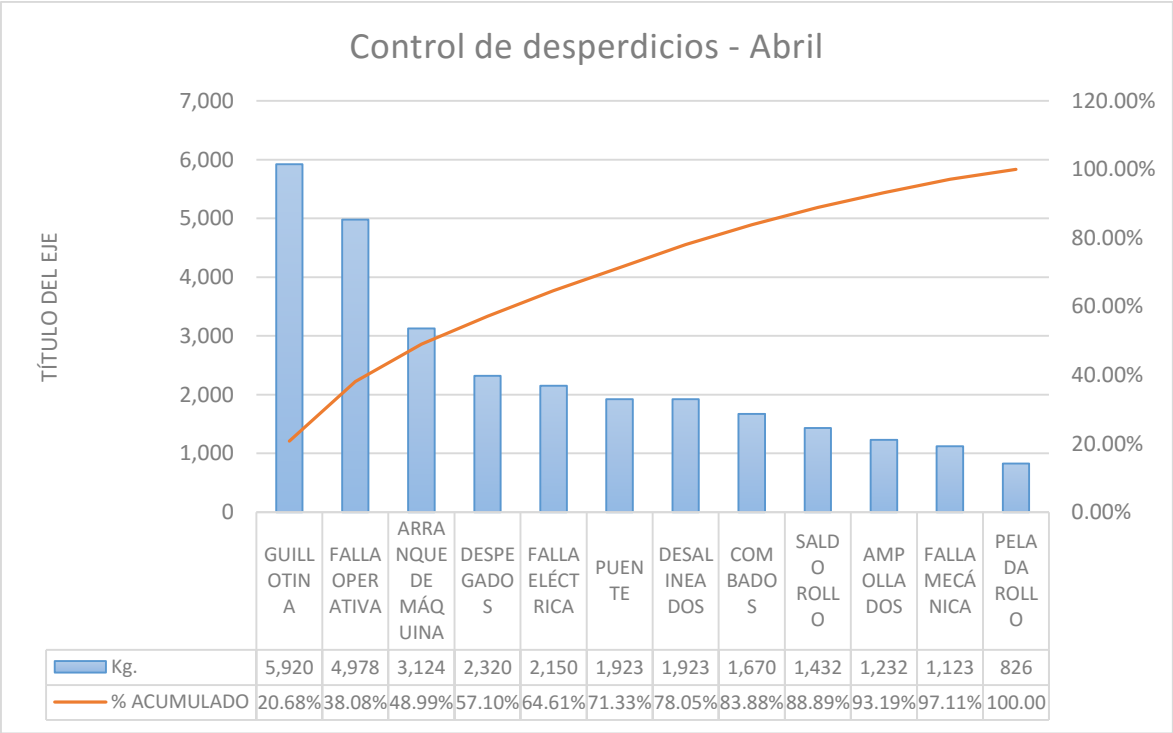


Figura 47. Control de Desperdicios Abril

Elaboración propia

Comparando las gráficas obtenidas tanto en el mes de Enero como el de Abril donde la producción en TM es similar (1300 TM), se pudo apreciar que la cantidad de TM de desperdicio generado por el defecto “pañó despegado” se redujo en un 72%, en Enero la cantidad de desperdicio por este defecto fue de 8.412 TM en comparación con Abril que fue de 2.32 TM.

El porcentaje que representaba el defecto de pegado débil sobre la cantidad total de desperdicio en el mes de Enero era del 20%, por el contrario en el mes de Abril se redujo el grado de participación hasta 8.11% de este defecto sobre la cantidad total de desperdicio.

La producción tanto en Enero como en Abril fue de 1300 TM, por lo tanto en enero el desperdicio generado representaba el 3.24% del total de la producción.

- Desperdicio: 42.13 TM
- Producción: 1300 TM
- % desperdicio: $\frac{42.1}{1300} = 3.24\%$

En el mes de Abril el desperdicio generado representaba un 2.2% del total de producción:

- Desperdicio: 28.6 TM
- Producción: 1300 TM
- % desperdicio: $\frac{28.6}{1300} = 2.20\%$

Por lo tanto el porcentaje de reducción del desperdicio después de haber implementado las mejoras basados en el control estadístico de proceso fue del 1.04%.

Financieramente la empresa Trupal S.A después de la implementación de control estadístico de procesos logró reducir sus costos, como se menciona en el inicio del informe cada TM de desperdicio disminuido impacta directamente sobre los costos, con un ahorro de 3500 soles.

La cantidad de toneladas disminuidas son las siguientes:

Desperdicio en Enero: 42.13 TM

Desperdicio en Abril: 28.6 TM

Desperdicio disminuido: 13.5 TM

Total de ahorro en soles: $13.5 \text{ TM} \times 3500 \text{ SOLES/TM} = 47\,355 \text{ Soles}$.

Finalizado este proyecto el impacto financiero para la empresa Trupal S.A es positivo, se disminuyen los costos en 47 355 soles.

BIBLIOGRAFÍA

AFCO, Asociación española de Fabricantes de Envases y Embalajes de Cartón Ondulado. (2010). *La máquina onduladora*.

Asociación de Corrugadores del Caribe, C. y. (2017). *Corrugando.com*.

Feigenbaum, A. V. (2008). *Control total de la calidad*. México.

Ishikawa, K. (1994). *Introducción al control de calidad*. Díaz de Santos.

Juan, Á., Sedano, M., & Vila, A. (2008). *La distribución normal*.

Latinoamérica, H. A. (s.f.). *henkel*.

Rojas, A. R.-F. (Marzo de 2006). *Control de procesos*. Universidad Pontificia de Madrid.

Romero, I. (2011). *La espina de pescado*.

Tellez García, M. I. (2014). *interiorgrafico.com*.

Vasquez, M. R. (2004). *Control de calidad aplicada a la Industria de Cajas Comerciales de Cartón*.